FACULTÉ DE PHARMACIE — UNIVERSITE DE STRASBOURG

ANNÉE SCOLAIRE 1939-1940 — N° 245

Etude Physique et Chimique DES EAUX MINÉRALES de Royat et de Clermont-Ferrand

THÈSE

présentée et soutenue publiquement le 9 Mai 1940
à la Faculté de Pharmacie de Strasbourg
pour obtenir le grade de Docteur de l'Université
(Mention Pharmacie)

par

Edward SADDIK Saïd,
Pharmacien

Examinateurs de la Thèse : M. Ch. LAPP, Président ; Mme L. BLANQUET, Professeur ; M. M. LEVADOUX, Professeur — Juges

IMPRIMERIE GÉNÉRALE
J. DE BUSSAC
2, Cours Sablon,
Clermont-Ferrand
—
1940

FACULTÉ DE PHARMACIE — UNIVERSITE DE STRASBOURG

ANNÉE SCOLAIRE 1939-1940 — N° 245

Etude Physique et Chimique DES EAUX MINÉRALES de Royat et de Clermont-Ferrand

THÈSE

présentée et soutenue publiquement le 9 Mai 1940
à la Faculté de Pharmacie de Strasbourg
pour obtenir le grade de Docteur de l'Université
(Mention Pharmacie)

par

Edward SADDIK Saïd,
Pharmacien

Examinateurs de la Thèse : M. Ch. LAPP, Président ; Mme L. BLANQUET, Professeur ; M. M. LEVADOUX, Professeur — Juges

IMPRIMERIE GÉNÉRALE
J. DE BUSSAC
2, Cours Sablon,
Clermont-Ferrand
—
1940

UNIVERSITÉ DE STRASBOURG

FACULTÉ DE PHARMACIE

ADMINISTRATION

MM. A. SARTORY, *Doyen*, C. ❋, I. ✪, C. ❀
VOLMAR, *Assesseur*, I. ✪.
MARANDON, *Secrétaire*, ❋, ⚷, ⚸, ✪.

DOYEN HONORAIRE

M. JADIN, O. ❋, I. ✪, ❀.

PROFESSEURS

MM.	A. SARTORY, C. ❋, I. ✪, C. ❀.	Bactériologie.
	LAVIALLE, ❋, I. ✪, ❀	Botanique
	VOLMAR, I. ✪	Chimie organique.
	GUILLAUME, ❋, ⚷, I. ✪, ❀	Pharmacie galénique.
	LAPP, I. ✪	Chimie analytique.
	CORDIER, ✪	Pharmacie chimique.
	R. SARTORY, ✪, ❀	Matière médicale.

MAITRE DE CONFÉRENCE

M.	DUQUENOIS	Toxicologie.

PROFESSEUR HONORAIRE

M. JADIN, O. ❋, I. ✪, ❀.

COURS COMPLÉMENTAIRES

MM.	A. SARTORY	Hygiène.
	LAVIALLE	Hydrologie.
	VOLMAR	Chimie minérale.
	GUILLAUME	Zoologie
	LAPP	Physique
	EISEMANN	Législation et Déontologie.
	CORDIER	Chimie biologique.
	R. SARTORY	Cryptogamie.

CHEFS DE TRAVAUX PRATIQUES

MM.	COLLARD, ⚷, I. ✪	Chimie pharmaceutique.
	Me LALLEMAND, ✪	Chimie et Physique.
	MEYER, ✪	Bactériologie et Parasitologie
	JÆGER	Histoire naturelle.

UNIVERSITÉ DE CLERMONT

ECOLE DE PLEIN EXERCICE DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE

PROFESSEURS DE PHARMACIE

DIRECTEUR :

M. J. CASTAIGNE, C. ✻, I. ✪ .... Membre associé national de l'Académie de Médecine.

PROFESSEURS :

MM.	L. BERT, I. ✪	Chimie biologique.
Mme	L. BLANQUET, ✻, I. ✪	Physique.
MM.	P. FEBVRE, ✪	Pharmacie galénique
	J.-B. FOURNIER, I. ✪	Matière médicale.
	M. D. GAUTHIER, I. ✪	Chimie.
	M. LEVADOUX, O. ✻, I. ✪	Hydrologie.
	P. MORNAC, I. ✪	Bactériologie et hygiène.
	R. VAURS, ✪	Histoire naturelle. Parasitologie.

PROFESSEUR SUPPLÉANT

M. G. DASTUGUE..... Physiologie

SECRÉTAIRE

M. G. CUVIER, I. ✪.

A MON PRÉSIDENT DE THÈSE :

MONSIEUR LE PROFESSEUR Ch. LAPP

DOYEN DÉLÉGUÉ DE LA FACULTÉ DE PHARMACIE DE STRASBOURG
PROFESSEUR DE CHIMIE ANALYTIQUE ET DE TOXICOLOGIE
DIRECTEUR DU LABORATOIRE DE PHYSICO-CHIMIE
A LA FACULTÉ DE PHARMACIE DE L'UNIVERSITÉ DE STRASBOURG
OFFICIER DE L'INSTRUCTION PUBLIQUE

En témoignage de notre vive et respectueuse reconnaissance.

A MES JUGES :

MADAME LE PROFESSEUR L. BLANQUET

PROFESSEUR DE PHYSIQUE A L'ÉCOLE DE PLEIN EXERCICE
DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE DE CLERMONT-FERRAND
DIRECTEUR DES SERVICES HYDROLOGIQUES
DE L'INSTITUT D'HYDROLOGIE DE L'UNIVERSITÉ DE CLERMONT-FD
CHEVALIER DE LA LÉGION D'HONNEUR
OFFICIER DE L'INSTRUCTION PUBLIQUE

MONSIEUR LE PROFESSEUR M. LEVADOUX

PROFESSEUR D'HYDROLOGIE A L'ÉCOLE DE PLEIN EXERCICE
DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE DE CLERMONT-FD
OFFICIER DE LA LÉGION D'HONNEUR
OFFICIER DE L'INSTRUCTION PUBLIQUE

Hommage de profonde gratitude.

A MON PÈRE ET MA MÈRE

Témoignage de reconnaissance et d'affection filiale qui dépasse toutes nos paroles.

Ce modeste travail ne couvre pas les lourds sacrifices qu'ils ont faits pour nous jusqu'ici. Notre tâche vis à vis d'eux, n'est pas terminée, et nous espérons que dans l'avenir notre travail leur fera honneur.

A MA SŒUR ET MES FRÈRES

Avec l'expression de ma grande affection.

A TOUS LES MIENS. A TOUS MES AMIS

إلى عشيرتي وأصدقائي

اعترافا بفضل وذكرا لمودة

A MONSIEUR LE PROFESSEUR SARTORY

DOYEN DE LA FACULTÉ DE PHARMACIE DE STRASBOURG
PTOFESSEUR DE BACTÉRIOLOGIE
A LA FACULTÉ DE PHARMACIE DE STRASBOURG
COMMANDEUR DE LA LÉGION D'HONNEUR

PHARMACIEN LIEUTENANT-COLONEL, SERVICE DE SANTÉ MILITAIRE

A MES MAITRES
DE LA FACULTE DE PHARMACIE
DE STRASBOURG

TOUS MOBILISÉS AUX ARMÉES

En témoignage de notre respectueuse reconnaissance.

A MONSIEUR LE PROFESSEUR CASTAIGNE

PROFESSEUR AGRÉGÉ DE LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS
MÉDECIN DES HOPITAUX DE PARIS
PROFESSEUR DE CLINIQUE MÉDICALE
DIRECTEUR DE L'ÉCOLE DE PLEIN EXERCICE DE MÉDECINE
ET DE PHARMACIE DE CLERMONT-FERRAND
MEMBRE ASSOCIÉ NATIONAL DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE
COMMANDEUR DE LA LÉGION D'HONNEUR

A MES MAITRES
DE L'ECOLE DE MEDECINE ET DE PHARMACIE
DE CLERMONT-FERRAND

Hommage de profonde gratitude.

INTRODUCTION

L'Auvergne est une des régions de France la plus riche en Eaux Minérales, et le département du Puy-de-Dôme qui en fait partie, offre à ce point de vue, une importance exceptionnelle.

Clermont-Ferrand est l'ancienne capitale de l'Auvergne, située au pied de la chaîne des Puys, dominée par le puy de Dôme. Elle s'étale sur les derniers contreforts granitiques du Plateau Central. Ces contreforts se dressent au-dessus d'une immense plaine d'alluvions, lac tertiaire comblé, « La Limagne », où coule l'Allier, affluent de la Loire. Dans cette région où les alluvions se sont déposées contre les terrains anciens, des cassures et des failles se sont produites, et une grande quantité de sources minérales viennent au jour. Elles ont été connues depuis la plus haute antiquité, et sont actuellement exploitées avec succès. Royat, à deux kilomètres de Clermont, est la grande station du cœur, si réputée dans le monde entier.

Il nous a semblé intéressant de faire l'historique de ces eaux de Royat et de Clermont-Ferrand et l'étude géologique de cette région.

Nous avons appliqué les procédés modernes d'analyses des eaux, préconisés par les laboratoires de l'Académie de Médecine, et effectué les analyses physiques et chimiques de huit sources : quatre de Royat et quatre de Clermont-Ferrand. C'est ce chapitre qui notera les résultats de notre travail personnel, dans le Laboratoire.

Après avoir comparé nos analyses à celles qui ont été faites par de précédents auteurs, nous donnons, dans un dernier chapitre, les applications de ces eaux, et montrons comment les éléments qu'elles renferment sont intéressants pour le traitement des maladies.

Mais avant d'aborder l'exposé même de notre travail, qu'il nous soit permis d'adresser ici à notre Maître, Madame le

Professeur L. Blanquet, l'expression de notre très vive et très respectueuse reconnaissance pour avoir bien voulu nous accueillir dans son laboratoire pour faire notre thèse et qui a dirigé notre travail avec sa bienveillance et sa sollicitude habituelles. Nous ne cesserons de conserver avec gratitude le souvenir de la haute autorité de son enseignement et des directives qu'elle nous a données, de la compétence avec laquelle elle a orienté et facilité nos recherches, autant que de la sympathie dont elle nous a entourés. Nous tenons à l'assurer de notre entier dévouement et de notre vive admiration.

Nous adressons également à Monsieur le Professeur Ch. Lapp, doyen délégué de la Faculté de Pharmacie de Strasbourg, l'expression de notre respectueuse reconnaissance pour avoir bien voulu accepter d'être président de notre thèse, et nous n'oublierons pas que c'est grâce à lui que les étudiants égyptiens ont pu continuer leurs études et leurs recherches à Clermont-Ferrand.

Nos vifs remerciements s'adressent à Monsieur le Professeur Levadoux qui a bien voulu faire partie de notre jury de thèse.

Monsieur Gautier, lauréat de l'Institut, Conservateur du Musée Lecoq de Clermont-Ferrand, collaborateur au service de la carte géologique de France, nous a initié avec science et désintéressement à la Géologie de l'Auvergne. Qu'il veuille bien trouver ici, l'expression de nos vifs et sincères remerciements.

Nous n'oublions pas nos chers Professeurs de Strasbourg qui sont mobilisés et nous souhaitons de tout notre cœur leur retour dans notre chère Faculté après la victoire des Alliés et la victoire de la Liberté.

Nous présentons notre travail en suivant le plan que voici :

1° Historique des Eaux de Royat et de Clermont-Ferrand.

2° Etude géologique de la région.

3° Analyses physiques et chimiques des sources :

De Royat : Eugénie, César, Saint-Mart, Saint-Victor.

De Clermont-Ferrand : Les Roches, Fonteix, Puits-Artésien, Saint-Alyre.

4° Comparaison avec les analyses antérieures.

5° Emploi actuel de ces eaux minérales.

CHAPITRE PREMIER

HISTORIQUE DES EAUX DE ROYAT ET DE CLERMONT-FERRAND

Les Romains firent un grand usage des eaux minérales ; leur confiance en elles était telle, qu'elle avait donné naissance à ce proverbe rapporté par Ciceron : « Tant qu'on va aux eaux, on n'est pas mort ». Leur emploi resta, au début, dans le domaine des empiriques médicaux, cependant, les textes romains nous montrent que la spécialisation hydrologique existait déjà, sous le Bas-Empire. Les eaux minérales étaient classées d'après la prédominance de leurs éléments constitutifs par Antyllus (1), qui en distinguait six catégories parmi lesquelles les eaux « nitreuses » d'Auvergne. Les écrits de PLINE (2) et de SÉNÈQUE, nous renseignent, également, sur les différentes sortes d'eaux minérales dont une « empêche l'ophtalmie et fait disparaître les ulcères » (2).

La vogue des stations thermales était très grande chez les Romains, les établissements étaient luxueux, et les traitements qui y étaient donnés, aussi complets que variés.

Si les Romains avaient à leurs portes de très belles sources d'eaux minérales chaudes, ils en trouvèrent, en Gaule, de bien plus nombreuses et bien plus importantes.

La vénération des ancêtres gaulois pour les eaux existait bien avant la conquête romaine (3). Dans les fouilles faites au Mont-Dore, Michel Bertrand (4) découvre, en 1823, en dessous des thermes romains, des piscines, datant de plusieurs siècles avant la conquête romaine. L'admiration des Dieux gaulois : Evahus, Bowo, protecteur d'Evaux et de Bourbon-l'Archambault, fut gravée, sur la pierre, bien avant les Dieux d'apparition latine. Aussi, lorsque la conquête fut complète, et que Rome commença à imposer son organisation à la Gaule, elle ne rencontra pas de résistance, dans le domaine spécial du culte des Eaux, et les Romains acceptèrent facilement les traditions des vaincus qui avaient, comme eux, un culte spécial pour les Eaux et les Fontaines » (4). L'assimilation fut d'autant plus complète qu'il existait une similitude frappante entre les Dieux de l'Olympe latin et les principales divinités du polythéisme gaulois (6), « ni Jupiter, ni Mercure ne prirent ombrage des milliers de génies qui pullulaient sur la terre des Arvernes : aucun de ces génies ne disparut : il s'en créa d'autres qui leur étaient semblables, et les maîtres les plus puissants de l'Olympe consentirent à jouer, dans un vallon de campagne barbare, le rôle obscur de Dieux locaux » (5).

Ce fut surtout en introduisant dans la Gaule leur goût immodéré pour les bains, que les Romains contribuèrent à l'extension de nos stations thermales. Les bains, à Rome, étaient fort en honneur ; on en prenait à toute heure du jour et de la nuit ; on y restait des journées entières. « Comment les Gréco-Latins n'auraient-ils mis à profit les remarquables sources chaudes du pays des Arvernes ; ces sources qui, par leur émergence naturelle, se prêtaient si bien à la construction d'édifices balnéaires ? Sur l'emplacement des anciennes habitations gauloises en bois ou en terre, que les armées de César avaient incendiées ou rasées, on vit bien vite s'élever de magnifiques constructions où le marbre et le porphyre le disputaient aux métaux les plus rares. Les Romains initièrent les Gaulois à l'architecture : ils leur firent connaître le ciment fameux qui porte encore leur nom (6). Les Romains apportèrent dans leur organisation thermale, l'expérience de leur médecine thermale. qu'ils avaient appliquée à Baies, Albula, Aix ou Pouzolles. « En France, aux abords de Clermont-Ferrand, Augusto Nemetum, les Romains édifièrent l'un des plus vastes et somptueux établissements qui fut jamais élevé dans la Gaule. Royat béné-

ficia, sans aucun doute, de son voisinage avec la cité florissante qu'Auguste avait comblée de ses bienfaits » (6).

Mais, autour de Clermont-Ferrand, à la même époque, les stations minérales de Néris, Evaux, Bourbon-l'Archambault, Bourbon-Lancy, Le Mont-Dore, Chaudesaigues, voyaient s'élever des établissements thermaux, des temples merveilleux, et attiraient les légions romaines et une foule nombreuse de baigneurs.

Toutes ces stations sont signalées sur la table de Peutinger, appelée aussi quelquefois, la table Théodosienne. « On sait que cette carte, conservée actuellement à la bibliothèque impériale de Vienne, est une copie, vraisemblablement exécutée au XIII^e^ siècle, d'une originale dont la date probable se place vers le milieu du III^e^ siècle. La carte était peinte sur une suite de feuilles de parchemin qui atteignent une longueur totale de vingt-un pieds sur un pied de haut. C'est, avant tout, une carte routière, où circulent les routes sous forme de ligne brisée, le long desquelles sont inscrits les noms des stations et des villes, avec des chiffres, indiquant en milles romains ou en lieues gauloises, les distances qui les séparent : certains établissements thermaux étaient figurés par un signe conventionnel spécial : un bâtiment de forme carré, renfermant au centre, un bassin coloré en bleu, sur l'original » (3).

Royat se trouvait desservie par de nombreuses routes qui partaient de cette ville et la mettaient en communication avec les stations que nous venons de mentionner. La voie romaine, complètement pavée, menait les baigneurs de Royat jusqu'au sommet du puy de Dôme, à une dizaine de kilomètres, où le temple de *Mercure « Dumiate »* s'élevait majestueusement, dominant et protégeant toute la contrée.

Les inscriptions que l'on trouve dans ces stations gallo-romaines montrent que certaines eaux thermales étaient surtout fréquentées par des soldats qui venaient y chercher le délassement de leur campagne ou la guérison de leurs blessures (Néris, Vichy) ; d'autres virent la clientèle plus locale (Bourbonne-les-Bains) ; enfin, dans d'autres stations, comme Royat, venait un nombre considérable de personnages illustres romains.

La vie devait être gaie dans les stations thermales de l'antiquité ; les distractions se composaient de jeux de hasard si nombreux dans l'antiquité romaine. Le théâtre de Néris, plus improprement appelé les arènes, sont les restes d'un édifice

consacré aux jeux et aux représentations théâtrales. A côté de l'Etablissement thermal, les hostelleries regorgeaient de monde et, à Néris encore, nous retrouvons les restes d'un édifice, comprenant une multitude de chambres, dont quelques-unes présentent des restes de peinture en fresque. Dans cette hostellerie, on retrouve même l'existence de four à pain.

Les stations thermales de la Gaule ont sombré dans le néant, sans que nous connaissions d'une façon certaine la cause de la disparition d'aucune d'entre elles. Pour certaines, ce sont des phénomènes naturels, par exemple, au Mont-Dore, un éboulement de la partie supérieure de la montagne qui dominait les édifices thermaux. En effet, pendant les travaux de 1823, on retrouve des masses confuses de murs renversés, de voûtes abattues et de pierres énormes, descendues des hauteurs, dont on pouvait suivre la trace, sur le flanc de la montagne. Pour d'autres, ce sont les invasions des barbares qui livrèrent aux flammes une quantité de villes thermales. Les traces d'incendies et de violences abondent et sont situées, par la majorité des auteurs, à l'invasion d'Attila, en 451. A Néris-les-Bains, l'examen des constructions thermales indique clairement une première disparition, par suite d'une destruction violente, suivie d'une restauration qui semble avoir eu le caractère d'une réfection presque complète. Enfin, le christianisme, lors de son triomphe définitif et de son établissement en Gaule, fut également un puissant agent de destruction pour les stations thermales et les édifices élevés près des sources. « Le luxe des stations thermales avec leurs jeux et leurs plaisirs, la vie libre et facile qu'on y menait, le culte dont on y entourait tant de divinités latines ou indigènes, les temples médicaux où les malades venaient demander à de surnaturelles interventions la guérison de leurs maux, les simples sources, avec leurs modestes sanctuaires auxquels présidaient ces divinités des eaux et des bois, objets d'exécration de la part des fidèles chrétiens, tout cela était bien de nature à attirer les coups des bandes fanatiques qui vengeaient, sur les monuments de paganinisme, les persécutions dont avaient souffert leurs frères » (3).

On conçoit mal cependant, que dans les trois siècles suivants, toutes les ressources des stations thermales se soient complètement éclipsées; mais, au moyen-âge, une sorte de renaissance se produisit dans l'usage des eaux thermales. Les eaux chaudes furent employées pour combattre l'horrible fléau de la lèpre,

et certains noms donnés à des piscines sont très significatifs à ce sujet. Nous trouvons, dans différentes stations, les noms de « piscine des lépreux », « bains des ladres ». En dehors de ces soins particuliers des lépreux, au retour des Croisades, l'époque médiévale a décombré telle piscine gallo-romaine et nettoyé tant bien que mal les conduites anciennes.

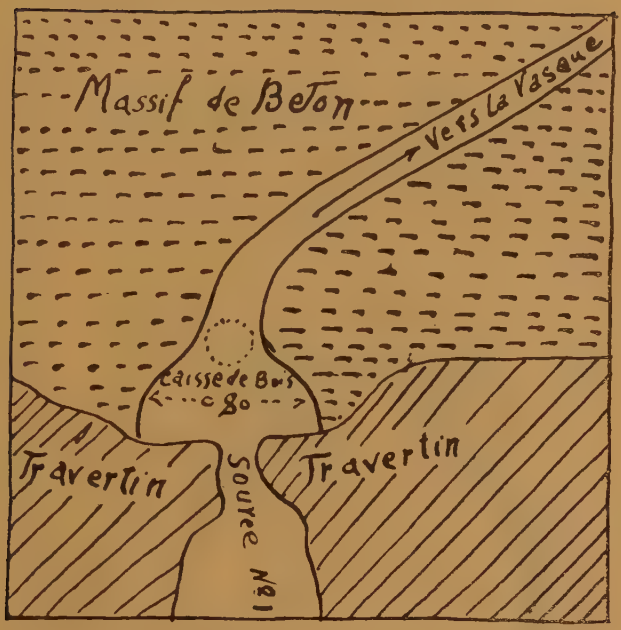
En Auvergne, nous pouvons noter quelques preuves de la survivance de la vie thermale : au Mont-Dore, le Seigneur Murat fait don, en 1328, au chapitre d'Orcival, d'une rente importante à prélever sur les bains du « Lieu des Bains » (ancien nom du Mont-Dore). D'après les registres terriers (1423 et 1463), il y avait alors quatre sources minérales utilisées.A La Bourboule, en 1643, le Seigneur s'engage à faire construire une maison de bains, à l'usage des habitants, à charge par eux, de payer une redevance. Vers la même époque, le Seigneur de Bourbon-Lancy donne, à l'abbé de Cluny, les bains situés dans le voisinage de son château (7).

En 1640, on pouvait encore admirer les richesses de Royat. Jean Banc (7), écrit : « Après les bains de Bourbon-Lancy, je ne trouve pas de marques si entières de la vieille architecture des anciens, que celle de Saint-Mart près Chamalières ».

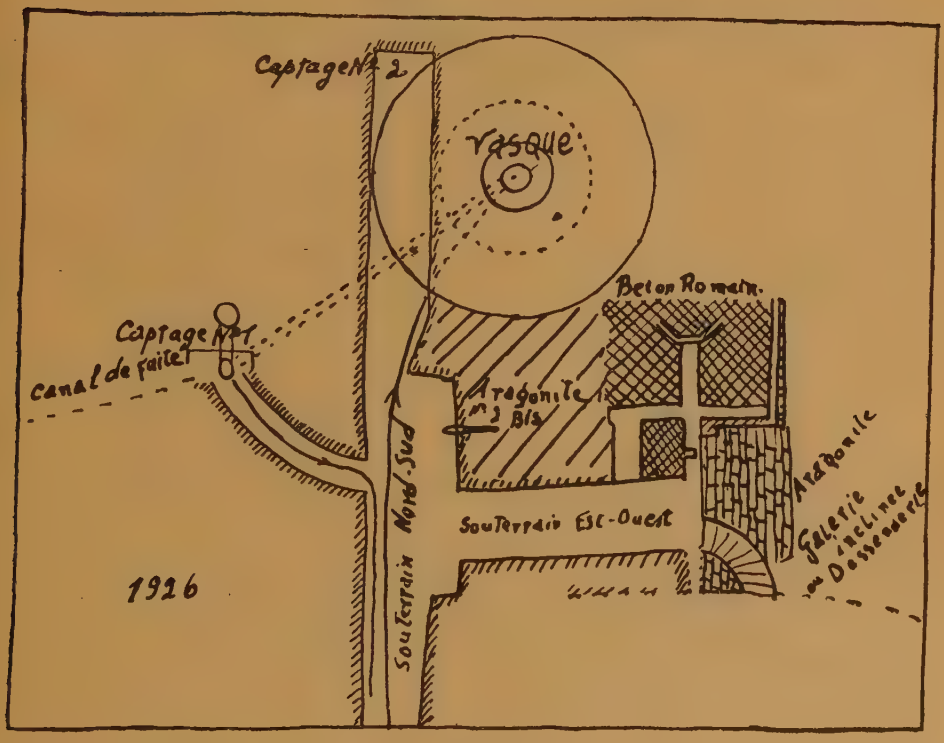
En 1846, l'abbé Védrine, curé de Royat, décidait quelques-uns de ses paroissiens à creuser le sol à un endroit où les paysans remarquaient, qu'en hiver, la neige fondait très rapidement. Ils mirent à jour un véritable torrent d'eau chaude. On découvrit ainsi les sources de César et Eugénie. Sous le second Empire, l'impératrice Eugénie visita Royat ; c'était déjà une station élégante et mondaine. Mais les véritables fouilles furent effectuées, à Royat, à partir de 1878 où le chemin de fer construisit le beau viaduc qui existe encore. Les comptes rendus de ces fouilles, et l'énumération des richesses antiques qu'on y découvrit, sont données, dans le livre du Dr Fredet (8), du Dr Petit (10) et Héron de Villefosse (11). On mit à jour un immense Etablissement Thermal avec piscine luxueuse, ornée de marbre, dont l'ensemble embrassait la presque totalité du parc actuel de Royat ; une piscine romaine a été restaurée, en voici la reproduction :

ainsi qu'une source de la même époque :

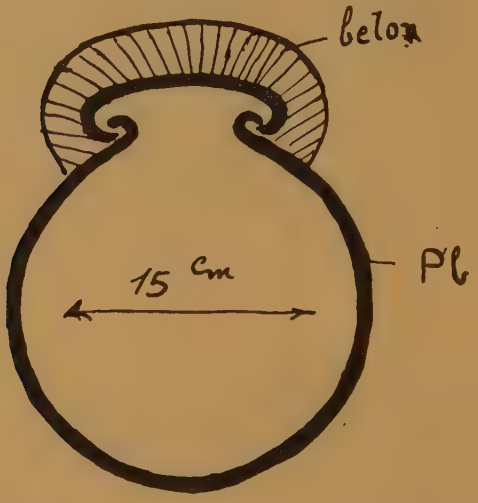
Les captages des sources faits par les Romains furent découverts, certains en excellent état ; l'un des captages était une sorte de caisse en bois, l'autre une cuvette en plomb, et aux alentours, pour éviter les infiltrations, était coulé le fameux béton romain. Voici les coupes successives des captages de la source Eugénie à Royat, en 1879 et 1926 : on peut y voir les restes du captage romain.


Massif de Beton
Vers la Vasque
Caisse de Bois
Go
Travertin
Source N°1
Travertin

1879


Captage N° 2
Vasque
Beton Romain
Captage N°1
Canal de fuite
Aragonite
m³ Bis
Aragonite
Galerie d'écoulement
Souterrain Nord-Sud
Souterrain Est-Ouest
1926

L'entrée d'une source romaine est encore intacte, la photographie se trouve dans le livre du Dr Chabrol (fig. 3, planches XI). Les canalisations romaines étaient en tuiles noyées dans le béton, ou en plomb ; afin d'éviter les soudures, ces derniers affectaient une disposition curieuse dont voici le schéma :



Les Romains utilisaient séparément les eaux minérales et leurs gaz ; on en voit la preuve dans ces tuyaux en forme de Y renversé, dont une branche prenait l'eau et l'autre les gaz (12).

On peut se rendre compte, par les reliques trouvées, de la magnificence de la station romaine où, ainsi que nous l'apprend Sidoine Apollinaire, évêque de Clermont-Ferrand, les murs des salles de bains étaient en marbre d'Egypte, incrusté de marbre de Numidie (13). On découvrit de très nombreux masques gallo-romains, le pied d'une statue immense de 40 cm. de long (la statue devait avoir trois mètres). La statue de la Déesse Mère, retrouvée également à Vichy, Néris, Bourbon, etc... (14), des quantités de tasses de buveurs, des médailles, des poteries, des ex-voto. Nombreux de ces objets, découverts à Royat, sont au Musée de Clermont-Ferrand.

Après ces fouilles, des travaux considérables furent entrepris au cours de 1926. Ils ont fait de Royat la station actuelle, avec ses trois établissements enfouis dans un parc verdoyant et agréable, où coule le ruisseau torrentueux de la Tiretaine.

De grands travaux étaient prévus pour cette année ; la guerre oblige à les suspendre, ils doivent apporter à Royat, un éclat plus grand encore, digne des merveilleuses eaux qu'il possède.

Telle est l'histoire de la station de Royat ; celle des eaux de Clermont-Ferrand est moins brillante.

En 1787, le livre du citoyen Legrand (Legrand d'Aussy)(15), et l'année suivante, le livre de Dulaure (16) nous donnent certaines indications sur les sources de Saint-Alyre, très renommées à cause du pont naturel formé par le dépôt de leurs eaux. Voici ce qu'on peut lire :

« Il y a longtemps qu'il est renommé si, comme on le prétend, Charles IX et Catherine de Médicis, sa mère, se rendant à Bayonne, prirent à dessein leur route par l'Auvergne pour voir ce prodige », et plus loin : « Le jardin renfermait des grottes et cent autres choses, formées par cette fontaine admirable qui change tout ce qu'elle arrose en pierre », et encore : « Le fer et la substance calcaire qui s'y trouve sont divisés en parcelles si ténues qu'elles deviennent invisibles, mais ces matières n'existent pas moins et bientôt elles se montrent sous la forme qui leur est propre. En effet, à peine l'eau commence-t-elle à couler dans son canal que le fer s'y précipite en prenant l'apparence et la couleur de la rouille ; il en est de même de la terre calcaire qu'elle tient en dissolution ».

Les eaux bicarbonatées de cette source de Saint-Alyre sursaturées de gaz carbonique perdent, en arrivant à l'air, leur excès de gaz carbonique ; les bicarbonates alcalino-terreux passent à l'état de carbonates insolubles qui se déposent.

Nous verrons le mécanisme de la formation de ce pont naturel, au chapitre géologique, mais nous constatons déjà, qu'au XVIII^{e} siècle, on pratiquait la pétrification, en faisant couler, à l'air, un mince filet d'eau sur les objets. Depuis, l'exploitation de cette source comme fontaine pétrifiante s'est beaucoup développée, et c'est actuellement une des curiosités de la ville de Clermont-Ferrand.

Une autre source est mentionnée dans ces deux livres ; c'est la source de Jaude sur laquelle il est écrit : « Pendant longtemps, la fontaine de Saint-Alyre a eu la vogue, à présent, c'est à celle de Jaude que l'on court. A la vérité, il s'était établie, auprès de celle-ci une guinguette où les jeunes gens des deux sexes, après avoir bu ou s'être présentés pour boire, allaient déjeuner et danser, et l'on conçoit sans peine combien ce voi-

sinage devait ajouter à la renommée de la salubrité des eaux » ; ce passage nous indique qu'on buvait des eaux minérales à Clermont-Ferrand et qu'on les buvait joyeusement.

En 1864, nous trouvons l'indication de toutes les sources de C lermont-Ferrand, dans le *Guide en Auvergne*, de Thibaud(16), mais l'étude de ces sources a été faite d'une façon complète par Truchot (17).

Les eaux de Clermont ne sont utilisées actuellement que comme eau de boisson, seule l'eau de Saint-Alyre, à cause de sa thermalité est employée en bains chauds contre les rhumatismes. Elles ont retenu notre attention parce qu'elles soulèvent un problème qu'il nous a semblé intéressant d'étudier ; venant au jour dans des terrains différents, ont-elles, de ce fait, une composition différente des eaux de Royat ?

CHAPITRE II

ÉTUDE GÉOLOGIQUE DE LA RÉGION

1° Position géologique des Sources minérales dans le Département du Puy-de-Dome

La révolution scientifique soulevée par Guettard dans les idées géologiques de son époque (1751), par sa découverte en Auvergne, des « Montagnes qui furent des Volcans », entraîna les hommes de sciences vers des vues nouvelles, et il en surgit des études aussi variées que nombreuses, sur les volcans du Massif Central et sur le cortège habituel de leurs productions au nombre desquelles figurent les eaux minérales, dernier terme de l'activité volcanique d'une région. Au point de vue purement géologique, l'établissement de cartes géologiques sur le fond topographique des levés de l'Etat-Major, basé sur la triangulation de Cassini, donna des précisions extrêmement utiles, sur l'origine des sources minérales ou thermo-minérales et sur leurs relations de position avec les roches d'où elles s'échappent et avec les fractures du sol.

En s'appuyant sur ces données scientifiques et en se servant des cartes géologiques détaillées de la France, on peut augmenter l'intérêt d'une étude hydrologique régionale par la précision que permettent d'établir les levées géologiques d'un territoire.

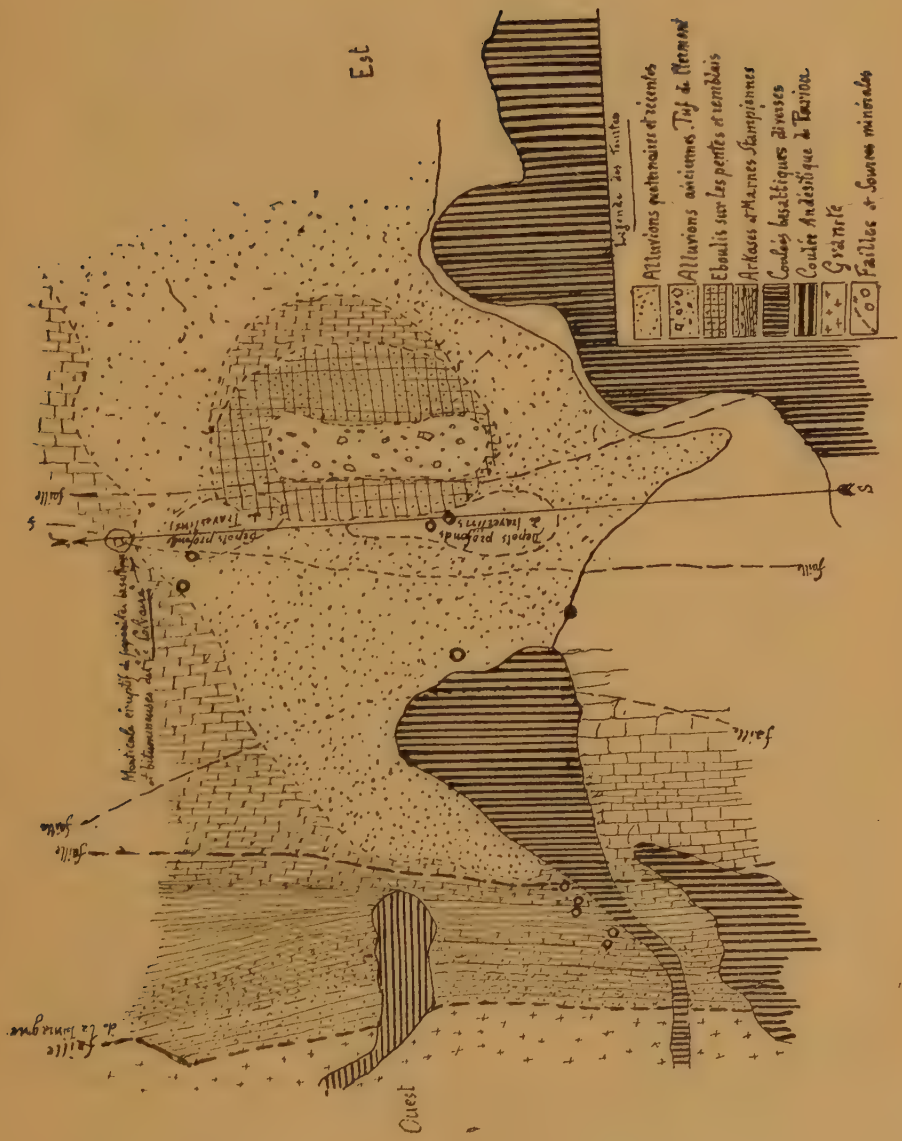
Celui qui embrasse à la fois Clermont-Ferrand, Chamalières et Royat, apparaît comme l'un des meilleurs pour une étude détaillée hydrologique et surtout d'hydrologie thermo-minérale, par ses rapports évidents avec l'activité volcanique régionale.

La carte géologique du service officiel permet, par l'application de ses contours sur un plan, réunissant la planimétrie des trois communes de Clermont-Ferrand, Chamalières et Royat, d'observer que le substractum de la région se divise en deux parties très distinctes par leur nature et leur position, abstraction faite des recouvrements. On voit que Clermont-Ferrand et Chamalières, en majeure partie pour cette dernière commune, sont installées sur les strates marno-gréseuses de la Limagne, tandis que Royat-village s'élève sur le granit.

Entre ces deux formations complètement opposées comme nature et origine, se place une fracture limite qui fait butter les grés et marnes de Limagne contre le Massif cristallin, qui supporte les volcans à cratères de la chaîne des Puys.

En s'informant des résultats obtenus par les sondages, pour la recherche des pétroles en Limagne, on sait que cette formation argilo-calcaire de cette plaine révèle une épaisseur de plus de 1.500 mètres ; d'après cela, on peut évaluer à environ 2 kilomètres, l'effondrement de la Limagne par rapport au granit qui la borde aujourd'hui et qui fut, jadis, le support de l'extension de ses strates vers l'Ouest.

Cette importante fracture a eu d'autres conséquences qu'un effondrement: elle a déterminé la sortie de laves abondantes et l'édification du volcan de Gravenoire et des eaux thermales de Royat comme finale de l'éruptivité de ce volcan basaltique Cette grande cassure ou faille bordière de la Limagne eut encore d'autres conséquences : en provoquant l'effondrement de la Limagne, elle entraîna d'autres ruptures, plus ou moins parallèles, et ce sont les principales d'entre elles qui sont notées sur la carte géologique. Il faut compléter, en pensée, ce premier réseau, par l'hypothèse très évidente d'un autre réseau à mailles plus serrées, reliant les grandes fractures entre elles, et c'est par là que s'expliquent les dispositions, dites éparpillées, de certaines sources minérales ou même thermales, qui ne se trouvent pas sur les lignes mêmes des grandes fractures. Cette disposition, en apparence sporadique, ne se voit pas facilement pour les eaux minérales, mais elle est très facile à établir, dans les dispositions filoniennes de même origine qui, contrairement


Est
Ouest
Légende des Teintes
Alluvions modernes récentes
Alluvions anciennes. Toj de Flemard
Eboulis sur les pentes et remblais
Argiles d'Marnes Sannoisiennes
Couches basaltiques diverses
Couche Andésitique de Tavion
Granité
Failles et Sources minérales
Faille
Faille
Faille

à l'eau, ont marqué leur trajet, en emplissant les cassures de leurs dépôts.

Ces caractères sont très visibles dans les exploitations. Le jeu de ces failles et l'importance des tassements verticaux qu'elles ont provoqués n'est pas bien visible sur une carte, mais par le relevé de profil, perpendiculaire à la direction des cassures, on se rend compte de l'importance de leur action. Si donc on fait une coupe en partant du sommet du puy Chateix, qui s'élève juste au-dessus des sources hydro-thermales alimentant l'Etablissement de Royat, et passant par Chamalières d'abord, puis tournant là, de 142° vers l'Est pour la faire passer sur le point le plus élevé de Clermont-Ferrand, on obtient le profil géologique ci-joint.

On voit immédiatement au-dessous des alluvions et coulées de laves qui ne sont que des matériaux de recouvrement relativement récents, le sous-sol géologique fracturé et divisé en compartiments qui ont glissé verticalement les uns contre les autres, et dont le dernier, vers l'ouest, s'appuie contre le granit du sous-bassement volcanique.

Les sources les plus importantes et les plus thermales sourdent de la faille bordière, par conséquent entre le granit et les arkoses pléistoriens de la Limagne, mais aussi, dans la même cassure qui donna le jour au volcan de Gravenoire, et, à son voisinage, on peut dire, immédiat, qui explique la température et l'abondance de gaz carbonique des sources balnéaires de Royat.

Et il faut noter aussi que ces sources de Saint-Mart, Eugénie, Saint-Victor, etc..., furent précédées par d'autres, qui déposèrent toujours sous la faille bordière et le long de sa paroi granitique, des argiles rougeâtres, au milieu desquelles on trouve de très beaux cristaux, de teinte ambrée, presque transparents, dont le dépôt séculaire oblitérera le canal formé par la faille, au début de son apposition. Les eaux de Royat sont donc les descendantes, modifiées comme composition, et atténuées comme température, de celles qui déposèrent les cristaux de Baryte de Chateix, gisement des plus intéressants pour les cristallographes.

En continuant de suivre la coupe de l'Ouest à l'Est, soit de Royat à Clermont-Ferrand, on trouve beaucoup d'autres manifestations hydro-thermales, mais de température plus basse probablement, parce que plus éloignées du foyer volcanique de Gravenoire. Elles ont pourtant une raison d'être

Plan de Clermont-Fd, Chamallières et Royat.

encore assez tempérées, par suite du degré géothermique particulier à la Limagne, degré fort bien établi dans les sondages de plus de 1.000 mètres pratiqués en Limagne.

Michel Lévy, le premier, a montré que ce degré géothermique connu dans le monde entier pour être de 1° par 32 mètres de profondeur, était pour la Limagne, de 1° par 14 mètres. Une eau minérale en Auvergne n'a donc pas besoin de venir d'une profondeur bien considérable pour présenter une température appréciable. A cette facilité d'acquérir ou conserver la température, il faut joindre la facilité qu'éprouvent les eaux de circulation profonde en Auvergne, de rencontrer de grandes quantités d'acide carbonique, surtout au voisinage des volcans. L'eau se chargeant de ce gaz devient très dissolvante des matériaux qu'elle rencontre et sortira au jour en déposant au départ de l'acide carbonique ce qu'elle a dissous en profondeur.

C'est donc bien sous l'influence des plans des fractures, qui mettent en relation les parties profondes et chaudes du sol géologique, que naissent les eaux minérales, et c'est pour l'Auvergne, un état constant, qui ailleurs, se présente comme une exception.

Le degré géothermique, la nature du sol et les fractures nombreuses de ce sol, bouleversé par tant d'ébranlements successifs, font de cette région un territoire privilégié des eaux thermales et minérales.

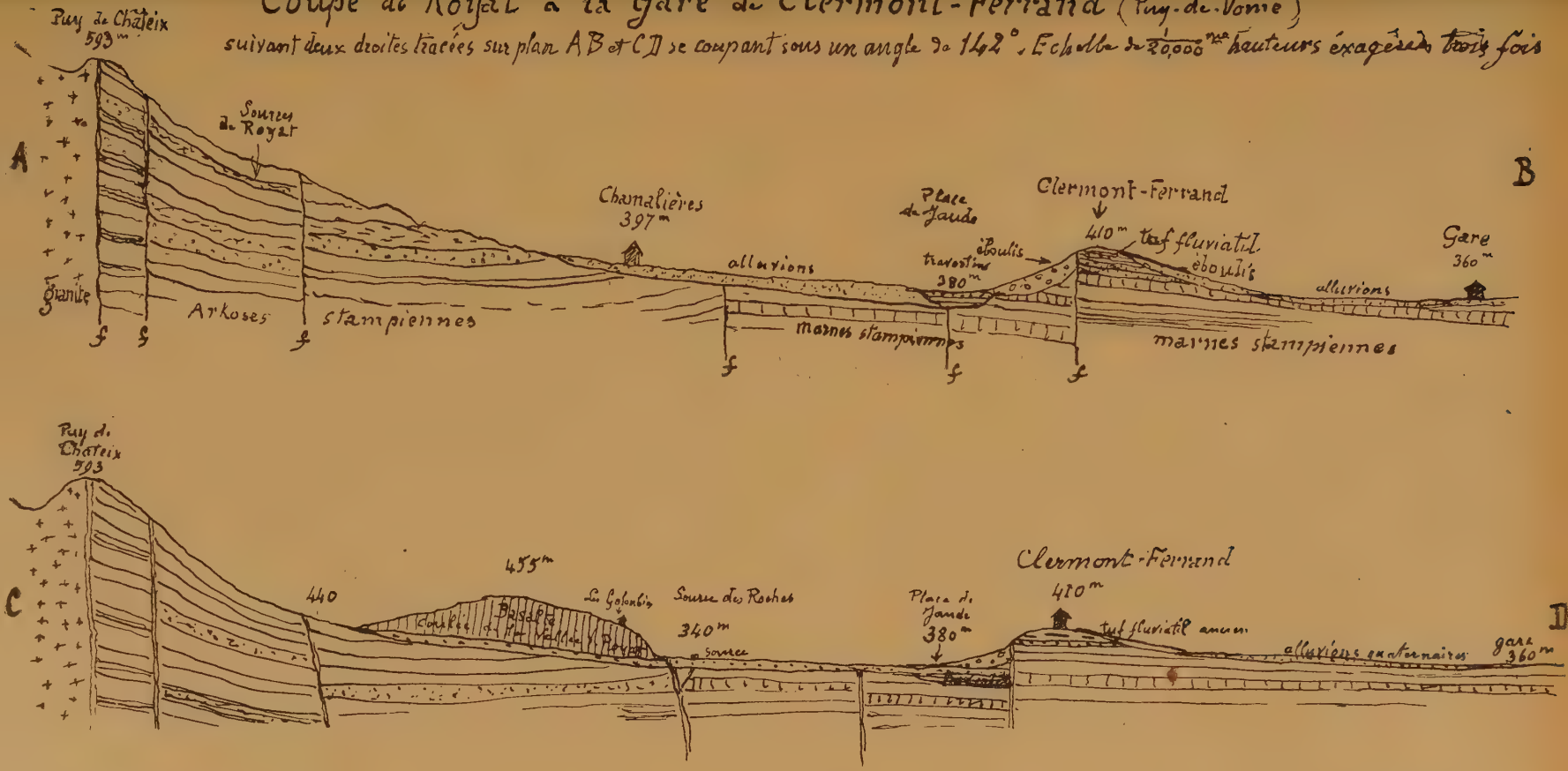
2° Coupe de Royat à la Gare de Clermont-Ferrand.

Cette coupe débute au sommet du puy de Chateix qui se trouve immédiatement au-dessus de l'Etablissement thermal de Royat. Elle sectionne la montagne de l'ouest à l'est, en prenant naissance dans le granit qui forme la moitié ouest de la colline, l'autre étant constituée par les arkoses de la base du Stampien (tertiaire inférieur) de la Limagne.

C'est à une faille très importante que les arkoses doivent d'être appliquées là, contre le granit, et cette même faille forme

Coupe de Royat à la gare de Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme)

suivant deux droites tracées sur plan AB et CD se coupant sous un angle de 142°. Echelle de $\frac{1}{20,000}$ me hauteurs exagérées trois fois



Profil géologique du sommet du Puy de Chateix au point 410m de Clermont et prolongé vers la région de la gare.

Echelle du $\frac{1}{20.000}$ me avec exagération de trois fois pour les hauteurs.

la limite ouest (faille bordière) de la plaine tertiaire de la Limagne. On trouve, peu après cette cassure, une autre assez rapprochée de la faille bordière, résultant de l'action d'effondrement de la première, et, si on examine attentivement les strates arkosiques, on les voit recoupées, par une série de cassures verticales, qui constituent entre la faille bordière et celle qui suit, des gradins successifs de tassements vers le centre de la plaine : c'est par ce terrain, ainsi craquelé, que sortent les eaux thermo-minérales de Royat.

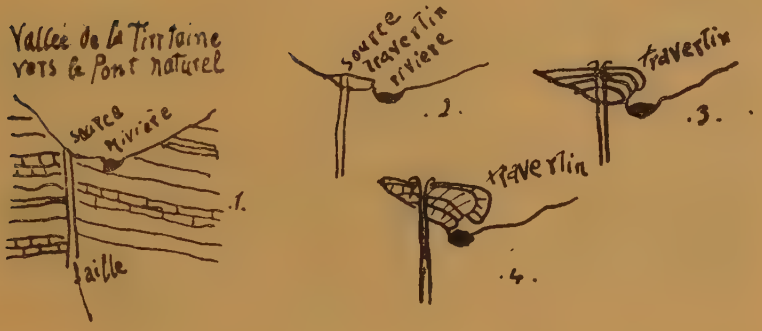
Plus à l'est, vers le viaduc, se trouve une troisième faille, et il est facile, sur le terrain, de remarquer qu'entre la deuxième et la troisième cassure, les lits d'arkoses se relèvent vers l'ouest en courbe parabolique, indiquant l'effort éprouvé par le tassement vers l'est et le soulèvement du granit à l'ouest.

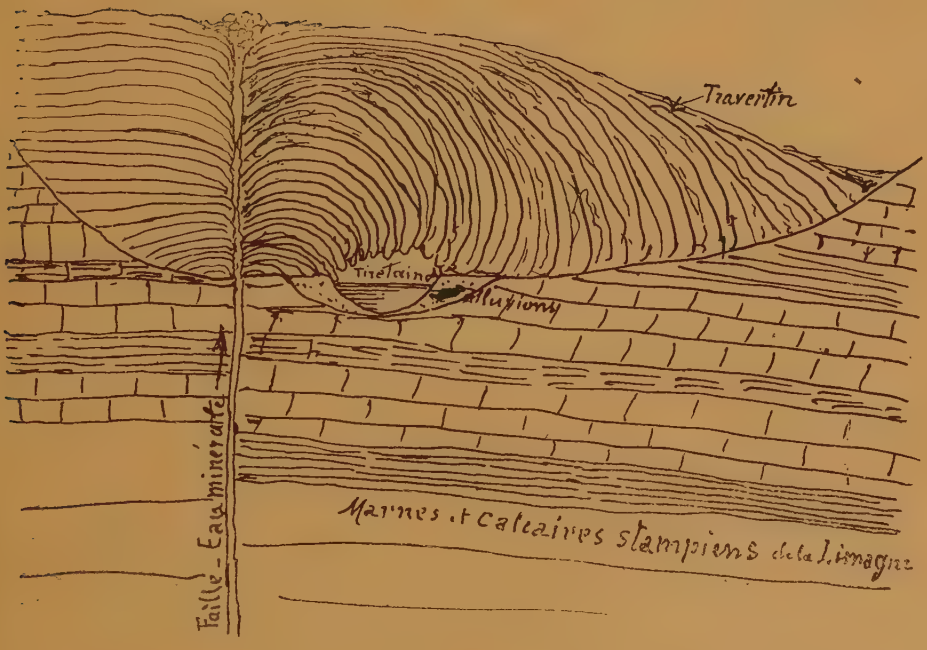
En continuant par Chamalières, une quatrième cassure fait butter les bancs d'arkoses contre les lits marno-calcaires aquitanniens, brisés eux-mêmes par une cinquième faille, à la hauteur de la place de Jaude. C'est par cette avant-dernière faille que sourdent les eaux extrêmement calcaires de Saint-Alyre, du Puits Artésien et des Salins. Dans cette dernière partie Clermontoise, on ne voit plus, comme jadis vers 1860, le grand développement qu'avait prise la flore des rivages maritimes ou flore salée tels que : Glaux maritima, Plantago maritimum, etc..., qui ne se trouvent que sur nos rivages méditerranéens et océaniques, et qu'on rencontre encore, autour de nos sources minérales non captées.

Les constructions d'expansion de la ville ont détruit toute cette flore, et obstrué beaucoup de sources sous les remblais indispensables pour rendre habitables ces terrains marécageux, dont le sous-sol, jusqu'à 10 mètres de profondeur, est occupé par des bancs d'épaisseur irrégulière, ou mieux de forme buticulaire, de travertin calcaire très dur, amorphe dans les plus récents, et arragonitique dans ceux plus anciens ; ce qui démontre que la tempéraure des sources minérales s'est abaissée.

Cette faille, dite de Saint-Alyre parce que, dans ce faubourg très ancien, voire romain, de Clermont, a donné naissance à un groupe d'eaux calcaires et carboniques qui ont édifié, sur le ruisseau de Tiretaine, un pont de travertin monolithe de 4 mètres de hauteur et presque autant de largeur, qui s'accroît tous les jours, de la même façon qu'il s'est formé, par l'apport lent et continue des dépôts.

Voici le mécanisme de formation de ce pont naturel :





PONT NATUREL DE TRAVERTIN

Formé par la source incrustante de Saint-Alyre (Clermont)

L'eau minérale est sortie par la faille de Chanturgue traversant Clermont-Ferrand, ou par une de ses branches latérales. En arrivant sur le sol, cette eau a déposé, à proximité du cours de la Tiretaine, une première couche de travertin qui alla toujours en augmentant d'épaisseur et de surface, jusqu'au jour où elle arriva au bord de la rivière. Là, le lavage continuel de l'eau douce de ce cours d'eau ne permit plus à l'eau minérale de déposer son travertin sur la rive, et c'est alors qu'il commença à épaissir sa couche, en édifiant sa bordure le long de la rivière, de plus en plus en encorbellement au-dessus de l'eau, celle-ci ne pouvant plus atteindre le travertin en formation, sauf dans de rares crues dont l'effet était de maintenir, en le lavant, le travertin au-dessus des eaux moyennes du cours d'eau. Mais comme l'action de dépôt de travertin était incessante, celui-ci gagnait toujours son accroissement en hauteur et en étendue au-dessus de la rivière, et finalement, parvint à atteindre l'autre rive, sur laquelle, de nouveau, il s'établit, en roche dure et microcristalline, qui, de siècle en siècle, acquit une épaisseur

de plusieurs mètres, bien que son dépôt journalier ne fut que de quelques dizièmes de millimètres.

Ce travertin formait jadis un puissant massif au Sud de ce qui est actuellement l'établissement du Pont Naturel, et pour régulariser une rue, on fut obligé d'employer les explosifs, pour ouvrir le passage nécessaire vers les débuts de l'an 1800.

Une sixième faille partage, à l'est de celle de Saint-Alyre, la colline où s'élève le vieux Clermont-Ferrand, l'Augusto Nemetum de la période romaine. Cette cassure qui vient, comme la précédente, du massif voisin dit des côtes de Clermont, sépare Chanturgue, aux vignobles jadis célèbres du Puy de Var à double coulée basaltique. En passant dans Clermont-Ferrand, un peu avant de la mairie et de la cathédrale, elle suit vers le sud, en détachant un vieux reste de débris alluvial et marneux, qui constitue le tuf, dans lequel sont creusées d'illustres caves, à température constante et froide, qui améliorent les vins qu'on leur confie. On a beaucoup écrit sur ce tuf, mais il n'y a aucun doute qu'il ne soit pas d'origine fluviétile et non volcanique, comme il a été publié. Cette faille a dû émettre aussi des eaux minérales calcaires qui ont durci le tuf de Clermont.

Ces six failles, comme on le voit, ont coupé, en tranche, les formations stampiennes de la Limagne, en leur imposant, par des tassements successifs, des positions telles que les bancs les plus anciens de la base des terrains tertiaires sont redressés sur la bordure d'appui granitique à l'ouest, tandis que les marnes stampiennes, plus récentes que les arkoses, se trouvent rejetées, par glissements et tassements successifs, vers la gare de Clermont-Ferrand. Les décrochements, résultant de ces divers mouvements, ont fait naître les sources minérales dans les failles les plus rapprochées de la ligne volcanique de Gravenoire qui est un des rares volcans, nés de l'existence d'une cassure importante, comme celle qui limite la Limagne à l'Ouest.

CHAPITRE III

ÉTUDE PHYSIQUE ET CHIMIQUE DES EAUX DE ROYAT ET DE CLERMONT-FERRAND

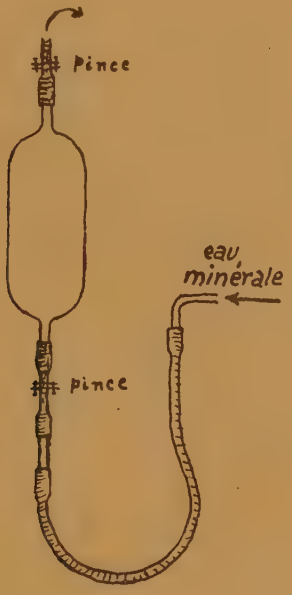
Il sera vu dans ce chapitre :

1° Les prélèvements.
2° La floculation des eaux.
3° L'étude physique des eaux.
4° Les dosages chimiques (techniques employées et résultats).

1° Prélèvements.

Tous nos prélèvements ont été faits au griffon ou très près du griffon, sur la canalisation de départ. La proximité des sources et du laboratoire nous a permis de ne pas employer de dispositifs spéciaux pour les prélèvements, cependant, pour certaines mesures, il a été nécessaire d'avoir l'eau exactement dans le même état physico chimique qu'à l'émergence, et nous avons dû la prélever à l'abri de l'air, de la façon simple que voici : l'eau arrive par un tuyau au bas d'une ampoule, munie de deux pinces 1 et 2, elle se déverse par le haut ; nous la laissons

couler quelques instants afin de bien laver l'ampoule et de chasser tout l'air avant de fermer, d'abord la pince 1, puis la pince 2. Ce procédé est suffisant pour que l'eau se conserve intacte jusqu'au laboratoire.



2° Floculation des eaux.

Ce phénomène est très important pour les eaux de Royat et de Clermont-Ferrand. Voici en quoi il consiste :

Les eaux, à l'émergence, sont transparentes et limpides mais, peu à peu, elles se troublent, deviennent bleuâtres, laiteuses, puis rouillent, ressemblant alors à une bouillie ; au bout d'un temps plus ou moins long, un précipité se dépose au fond du récipient et l'eau qui le surmonte est de nouveau claire. Le précipité déposé s'appelle le floculat. Naturellement, tous les éléments qui floculent sont perdus pour l'eau, et, de ce fait, les propriétés de l'eau minérale ont changé. Depuis longtemps, les médecins et les malades ont remarqué que les eaux minérales n'avaient pas les mêmes propriétés thérapeutiques lorsqu'elles étaient prises en boisson, au griffon, ou en

bouteilles. Le langage commun dit : qu'à l'émergence l'eau est « vivante » et qu'en bouteille, elle est « morte ».

La floculation des eaux minérales a des causes multiples, la principale est l'oxydation due à l'oxygène de l'air. Ce dernier agit sur les sels ferreux, manganeux et les fait passer à l'état ferrique et manganique. L'hydrate ferrique formé est colloïdal et on peut voir, à l'ultra microscope. pendant la floculation, les mouvements browniens des micelles. Mais en présence des électrolytes contenus dans les eaux minérales, le colloïde aussitôt formé flocule, en entraînant avec lui nombre d'éléments. Il se produit un véritable colmatage, comparable à l'éclaircissement des jus de fruits, à la clarification des vins (18).

La différence entre une eau vivante et une eau floculée est facile à déceler par les réactifs appelés improprement réactifs des oxydases.

Si à 10 cc. d'eau non floculée on ajoute 2 gouttes de solution de benzidine acétique (benzidine 1 gr., acide acétique 10 cc., eau distillée QS pour 50 cc.), et une goutte d'H^2O^2 à 10 volumes, on obtient une belle coloration bleue fugace, alors qu'avec l'eau floculée on n'en obtient aucune.

Avec 10 cc. d'eau non floculée, 3 gouttes de gaïacol fondu au bain marie, et 0 $cm^3 5$ d'H^2O^2 à 10 volumes, la coloration obtenue est brun rouge ; elle est due à la gaïacoquinone qu'on peut extraire avec le $CHCL^3$ et doser colorimétriquement. Avec une eau morte on n'obtient rien.

Ces réactions colorées ont servi à certains médecins pour montrer que les eaux minérales contenaient des oxydases. En réalité, elles sont communes à ces dernières et aux sels cuivreux, ferreux, manganeux, etc... Elles ont été étudiées par M^lle^ Davoust (19) qui a montré que, lorsqu'elles sont négatives, dans les eaux minérales, c'est que ces dernières ne contiennent pas de sels métalliques au minimum, et que l'intensité de la couleur obtenue était proportionnelle à la quantité de fer dans l'eau. Ce sont des réactions qui permettent de voir, rapidement et sûrement, si une eau est floculée ou non ; de plus, au griffon, elles renseignent sur la teneur en fer et permettent de prévoir l'importance de la floculation ultérieure. Pour repérer l'intensité des colorations, nous avons fait une gamme colorée arbitraire, confectionnée avec des solutions de bleu de méthylène plus ou moins concentrées et numérotées par ordre décroissant de 1 à 20.

Voici nos résultats :

Source	César	Saint-Victor	Saint-Mart	Eugénie
N° de l'étalon	9	9	11	13
Quantité de bleu de méthylène 0/00	0 g. 0312	0 g, 0312	0 g. 0156	0 g. 0078
Durée de la coloration	33 sec.	33 sec.	25 sec.	16 sec.

Source	Fonteix	Roches	Puits Artésien	Saint-Alyre
N° de l'étalon	11	11	11	11
Quantité de bleu de méthylène 0/00	0 g. 0156	0 g. 0156	0 g. 0156	0 g. 0156
Durée de la coloration	45 sec.	60 sec.	90 sec.	90 sec.

Nous prévoyons que la source Eugénie contient plus de fer que César et floculera plus abondamment. Le phénomène de floculation, changeant l'état physique de l'eau pendant qu'il se produit, pour déterminer la densité, l'indice de réfraction, l'abaissement cryoscopique, la résistivité électrique, nous avons, en conséquence, opéré sur de l'eau non floculée ; quant aux dosages chimiques, ou bien notre prise d'essai a été faite avant la floculation, ou bien nous avons agité l'eau et le floculat fortement, avant de la faire. Cette remarque est importante car si les dosages sont faits sur l'eau floculée ou non floculée, les différences peuvent être très grandes pour certains éléments.

3° Etude Physique.

Température. — Cette mesure ne donne lieu à aucune observation. Elle est celle de l'eau, au griffon, au moment de notre prélèvement. Nous n'avons pas suivi les variations de température avec le temps, ces problèmes sortant du cadre de notre travail.

Sources	César	Saint-Victor	Saint-Mart	Euénie
Date	2 déc.	2 déc.	2 déc.	2 déc.
Températ.	27°5	21°4	27°7	33°5

Sources	Fonteix	Roches	Puits Artésien	Saint-Alyre
Date	3 déc.	3 déc.	3 déc.	3 déc.
Tepmérat.	17°	17°	22°5	21°

Densité. — Nous avons employé la méthode du flacon sur laquelle nous n'insisterons pas, le procédé étant classique.

Si M est la masse de l'eau minérale à 0°, M′ celle d'un égal volume d'eau distillée à 0°

$$D \text{ à } 4^\circ = \frac{M}{M'} \times 0{,}9998$$

Sources	César	Saint-Victor	Saint-Mart	Eugénie
M en g...	56,308	56,401	56,396	56,407
M′ en g...	56,164	56,164	56,164	56,164
Densité...	1,0022	1,0039	1,0038	1,0040

Sources	Fonteix	Roches	Puits Artésien	Saint-Alyre
M en g...	56,378	56,363	56,353	56,361
M′ en g...	56,164	56,164	56,164	56,164
Densité. . .	1,00352	1,00326	1,00308	1,00322

Indice de réfraction. — Les mesures ont été faites avec le réfractomètre de Fery, appareil très sensible dont le Vernier donne la 3° décimale.

Voici nos résultats.

Sources	César	Saint-Victor	Saint-Mart	Eugénie
Indice	1,304	1,304	1,304	1,305
Sources	**Fonteix**	**Roches**	**Puits Artésien**	**Saint-Alyre**
Indice	1,304	1,304	1,304	1,304

Nous constatons que ces indices sont les mêmes, quelles que soient les sources étudiées, une telle mesure ne pourrait pas servir de test d'identité, aussi avons-nous pris les indices interférométriques des eaux minérales, avec l'interféromètre de Zeiss, dont voici le principe. Deux faisceaux lumineux interfèrent et donnent des franges d'interférences en F.

Si le rayon SF traverse une épaisseur e, d'un corps d'indice n, au point de vue chemin optique, l'épaisseur e d'air est remplacée par une épaisseur e n ; il y a augmentation de trajet et les franges d'interférences en F se déplacent d'une quantité d'autant grande que e et n sont plus grands.

Si sur les deux rayons SF et S′F on met des épaisseurs égales de corps d'indices différents, n et n′, on observe, pour la même raison, le déplacement du système de franges en F, d'autant plus important, que la différence des indices n moins n′ est grande.

Dans l'interféromètre employé, nous avons mis sur le trajet d'un des faisceaux, une cuve contenant de l'eau distillée, sur l'autre une cuve absolument identique, remplie d'eau minérale. Le déplacement des franges se mesure, grâce à la rotation d'un tambour qui, en tournant, annule le déplacement des franges. La différence d'indice entre l'eau minérale et l'eau distillée est proportionnelle à la rotation du tambour. Les deux cuves sont maintenues à des températures égales et constantes, dans un bain d'eau. Ces interferomètres sont des appareils extrêmement sensibles qui peuvent déceler des variations infinitésimales d'indices.

Voici les résultats obtenus :

Sources	H20 distil.	César	Saint-Victor	Saint-Mart	Eugénie
Température	19°	19°	19°	19°	19°
Divisions du tambour	24	449	913	863	933

Sources	H20 distil.	Fonteix	Roches	Puits Artésien	Saint-Alyre
Température	19°	19°	19°	19°	19°
Divisions tu tambour.	24	828	615		742

Abaissement cryoscopique. — La différence du point de congélation de l'eau distillée et d'une eau minérale doit être proportionnelle à sa minéralisation ou a son extrait sec, et aussi, ceci est important, au degré de dissociation des sels dissous.

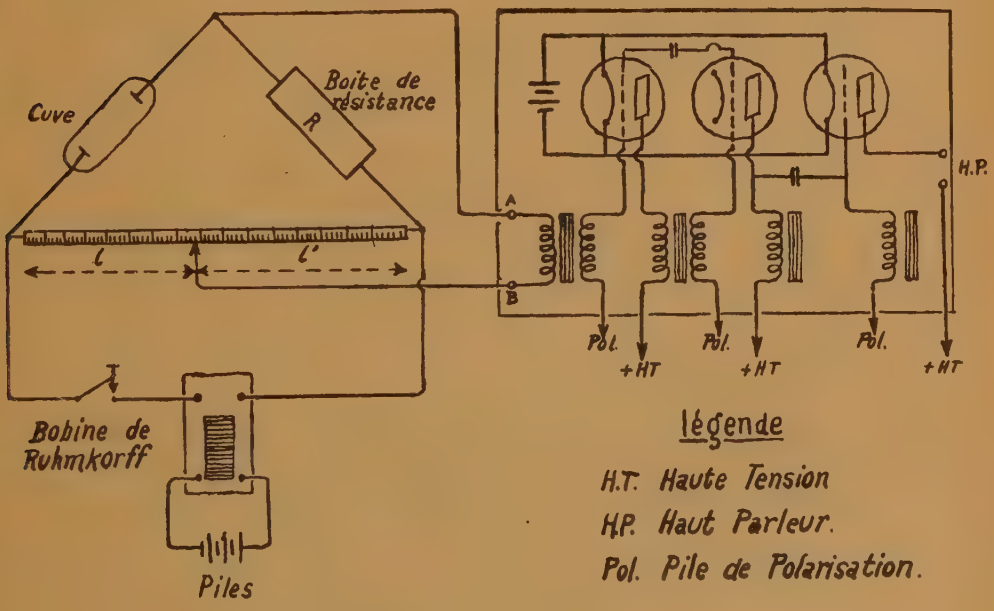
Nous avons pris les points de congélation avec les précautions d'usage, en évitant les phénomènes de surfusion et en abaissant la température dans des cryoscopes à évaporation d'éther.

Voici les résultats :

Sources	Sésar	Saint-Victor	Saint-Mart	Eugénie
Abaissement cryoscopique	0°,19	0°,30	0°,30	0°,30

Sources	Fonteix	Roches	Puits Artésien	Saint-Alyre
Abaissement cryoscopique	0°,26	0°,20	0°,21	0°,21

Résistivité électrique. — Cette mesure a été faite au pont de Kohlrausch, dont voici le schéma :



L'écouteur classique a été remplacé par un amplificateur à lampes et haut-parleur. La cuve électrolytique a été étalonnée, en la remplissant d'une solution de KCl $\frac{N}{50}$, dont on connaît la résistivité : 416 ohms 8 à 18°. Les mesures ont été faites en déplaçant le curseur qui modifie L, jusqu'au silence absolu dans le haut parleur. Nous avons trouvé comme résistance électrique de la cuve 57 ohms 88 et nous avons déduit pour le coefficient de cuve la valeur $\frac{416,8}{57,88} = 7,2$. Le tableau qui suit donne le détail de nos mesures et leurs résultats.

Sources	R Résistance	L Longueur	T Température	Résistivités à 18° en ohms, cm.
César. ...	50	51,8	19,1	396,288
St-Victor	30	47,3	18,6	196,38
St-Mart.	30	46,8	21	203,125
Eugénie.	30	45,3	21	191,234
Fonteix.	30	48,9	18,2	207,538
Roches .	30	55,7	18	271,512
Puits Artésien	30	58,9	18	310,51
St-Alyre	30	53,5	16	237,1796

PH. — Le PH d'une solution indique la quantité d'ions acides qui y existent à l'état libre. La mesure peut se faire à l'aide de deux méthodes classiques, colorimétrique ou électrométrique. Nous avons choisi la dernière parce qu'elle est plus précise.

Au sujet de cette mesure, une remarque importante doit

être faite. Les eaux minérales qui contiennent beaucoup d'acide carbonique libre ont, à l'émergence, un PH très bas, c'est-à-dire acide. Lorsque, à l'air, CO_2 se dégage, le PH augmente, de sorte que les variations de PH sont énormes entre une eau minérale considérée au griffon ou quelques instants après. Un des exemples les plus frappants à citer, à ce sujet, est le suivant : les eaux de Vichy, type des eaux alcalines, ont un PH inférieur à 7, donc acide, au griffon ; quelques instants après, le PH est de 8, donc alcalin.

En conséquence, nous avons pris les PH au griffon. Les nombres obtenus sont d'autant plus bas qu'il y a plus de CO_2 libre dans l'eau, et ils ne signifient pas que l'eau ne soit pas une eau minérale alcaline avec prédominance de bicarbonates.

Sources	César	Saint-Victor	Saint-Mart	Eugénie
PH	6,23	6,41	6,49	6,51

Sources	Fonteix	Roches	Puits Artésien	Saint-Alyre
PH	5,52	6,21	6,33	6,64

Radioactivité. — Nous n'avons mesuré que le radon dissous dans les eaux minérales, sans nous occuper de la radioactivité des gaz, ni de la radio activité permanente due aux sels de Ra pouvant exister dans l'eau.

L'émanation ou radon est chassée de l'eau par chauffage et ébullition dans le vide. Les gaz dégagés sont soigneusement desséchés dans des tubes à anhydride phosphorique et envoyés dans un cylindre ; ce dernier possède une tige centrale isolée, mise en communication avec l'armature interne de l'électroscope de Curie, tandis qu'il est lui-même réuni à l'armature externe. Après trois heures, on mesure la vitesse de chute de la feuille d'or de l'électroscope.

Une mesure identique de vitesse de chute de la feuille d'or est faite, avec le même électroscope, mais en communication,

non avec le cylindre, mais avec une chambre d'ionisation, de même capacité électrique totale que ce dernier et où on met un étalon de radium. Celui que nous avons eu à notre disposition correspondait à une vitesse de chute de 10,5 et valait 20 millimicrocuries, 8468.

Les corrections doivent faire intervenir l'âge de l'eau au moment de l'expérience (correction $\frac{1}{\alpha}$), la température jointe à la pression atmosphérique de l'air, lors de la mise au cylindre (correction $\frac{1}{\beta}$).

Le tableau rend compte du détail de nos mesures pour lesquelles nous avons appliqué la formule :

Emanation en millimicrocuries

$$\text{par litre} = 20846{,}8 \times \frac{v}{u-f} \times \frac{1}{V} \times \frac{1}{\alpha} \times \frac{1}{\beta}.$$

Sources	Volume de l'eau V cm^3	Date de prélèvement	Mise au cylindre en degré	Température	Pression atmosphérique	Fuite spontanée f	Vitesse due au radon dans l'eau v	Vitesse due à l'étalon U	Radon par litre en millimicrocuries
César.	1337	26–12 9 h. 20	12 h. 10	21°	725,7	0,06	0,44	10,47	0,679
Eugénie.	1193	2–1 à 9 h.	11 h.	21°	725	0,02	0,14	10,5	0,25
St-Victor. . . .	1260	4–1 15 h.	17 h.	20°	730	0,013	9,3	10,5	15,17
St-Mart.	1145	9–1 9 h. 30	11 h. 30	19°	735	0,05		10,4	14,34
Fonteix.	1010			19,5°	730	0,042	9,61	9,61	20,416
Roches									0
Puits Artésien									0
St-Alyre									0

4° Dosages chimiques :

Techniques employées et résultats.

Extrait sec. — La détermination de l'extrait sec se fait en faisant évaporer, à sec, au bain marie, dans une capsule de platine, une quantité plus ou moins grande d'eau suivant la minéralisation. (Le poids à peser doit être environ de 5 décigrammes).

La capsule desséchée est mise à l'étuve, à 180°, jusqu'au poids constant, et pesée.

Sources	César	Saint-Victor	Saint-Mart	Eugénie
Extrait sec.	1 g. 786	3 g. 722	3 g. 287	3 g. 817

Sources	Fonteix	Roches	Puits Artésien	Saint-Alyre
Extrait sec.	3 g. 422	2 g. 670	2 g. 293	3 g. 05

Alcalinité totale. — L'alcalinité est dosée à l'aide d'acide $SO^4H^2 \frac{N}{10}$.

A une prise d'essai de 100 cc. d'eau, nous avons mis 2 gouttes d'héliantine comme indicateur, et fait tomber, très lentement, le $SO^4H^2 \frac{N}{10}$ jusqu'à virage rose.

Soit Ncc le nombre de cc. de $SO^4H^2 \frac{N}{10}$ écoulés ; $N \times 10$ donne l'alcalinité de l'eau en centimètres cubes de soude $\frac{N}{10}$ par litre.

Sources	César	Saint-Victor	Saint-Mart	Eugénie
Alcalinité .	213 cc.	390 cc.	379,5 cc.	400 cc.

Sources	Fonteix	Roches	Puits Artésien	Saint-Alyre
Alcalinité .	373 cc.	289 cc.	307 cc.	406 cc.

Potassium. — Méthode Albert Leulier, Léon Velluz et Henri Griffon (mémoire présenté à la séance du 25 mai 1928, *Bulletin de la Société de Chimie biologique*, tome X, 1928, p. 891). Le réactif est une solution fraîche de cobaltinitrite de sodium (1 gr. de sodium dans 5 cm³ d'eau acétique à 1%). Pour fabriquer le cobaltinitrite, on suit la technique suivante :

NO^2Na	150 gr.
NO^3 Co cristallisé	50 gr.
CH^3CO^2H à 50%	50 cc.
H^2O distillée chaude	150 cc.

faire dissoudre le NO^2Na dans l'eau chaude et à 40°, lorsqu'il se forme des cristaux de NO^2Na, on ajoute le NO^3Co et, peu à peu, 50 cm³ d'acide acétique à 50%, on agite et on fait passer un courant d'air 30 minutes. Il se forme un précipité brun (nitrite double de Na et de Co, souillé de traces de complexe cobaltico potassique) ; après deux heures de repos, on filtre ; le précipité est dissout dans 50 cc. d'H^2O à une température 70/80°. On filtre de nouveau et on réunit à la solution claire primitivement obtenue. On ajoute, à cette solution, 250 cc. d'alcool à 95°. Il se forme un précipité de cobaltinitrite de Na qu'on recueille sur un filtre de Buchner et essore à la trompe ; on lave quatre fois avec 25 cc. d'alcool à 95°, deux fois avec 25 cc. d'éther, on sèche à l'air.

Ce réactif, avec le potassium, donne un précipité jaune de cobaltinitrite de potassium et de sodium insoluble dans l'eau, l'alcool, l'éther et l'acide acétique, alors que les cobaltinitrites

des métaux lourds ou alcalino-terreux le sont. Des lavages appropriés permettent donc de les séparer. Hydrolysé par PO^4Na^3, le précipité libère le nitrite qu'on oxyde par MnO^4K en excès. L'excès est titré par iodométrie.

Dans un tube à centrifuger, nous avons pris 3 cc. d'eau plus 1 cc. de réactif, quantités calculées pour respecter les concentrations exigées par la technique. Après repos de 30 minutes, nous avons centrifugé pendant 10 minutes à grande vitesse, ce qui est suffisant pour que la liqueur surnageante soit parfaitement limpide. Nous avons décanté et lavé le précipité deux fois avec 10 cc. du mélange suivant :

Alcool 95°.	12
Ether.	12
CH^3COOH	4
H^2O	6

puis deux fois avec 10 cc. de mélange :

Alcool 95°.	10 cc.
Ether.	10 c.

et enfin une fois avec 10 cc. d'éther pur.

Après décantation et évaporation de l'éther, nous avons ajouté 10 cc. PO^4Na^3 en solution à 5%, et porté au bain marie bouillant, pour hydrolyser. Le nitrite de potassium est oxydé par 30 cc. de solution à 0 gr. 3 pour 1000 de MnO^4K, et 1 cc. SO^4H^2 à 25 p. 100. Après 30 minutes, nous avons ajouté 3 cc. de solution IK 10% ; l'iode libre est titré par $S^2O^3Na^2$ $\frac{N}{100}$. La solution de MnO^4K est traitée de la même façon.

Soit :

Ncc le volume de $S^2O^3Na^2$ trouvés pour la solution de MnO^4K.

N'cc le volume de $S^2O^3Na^2$ observé pour la solution de nitrite.

La teneur de la prise d'essai en milligramme de potassium est donnée par $(N—N') \times 0{,}065$ et, au litre :

$$(N—N') \times 0{,}065 \times \frac{1000}{3}.$$

Sources	N en cm^3	N' en cc.	N — N' en cc.	K en g p. 1000
César.	18,75	16,99	1,76	0,038
St-Victor. .	18,75	13,05	5,7	0,1235
St-Mart. . .	18,75	13,7	5,05	0,1094
Eugénie. . .	18,75	12,6	6,15	0,133
Fonteix. . .	18,75	13,9	4,85	0,105
Roches . . .	18,75	15,85	2,9	0,0628
Puits Artésien . .	18,75	15,8	2,95	0,064
St-Alyre . .	18,75	15,95	2,8	0,0606

Sodium. — Le sodium a été dosé par la technique de E. Kahane (*Journal de Pharmacie et Chimie*, p. 425, 1930). Le réactif est un acétate double de magnésium et d'uranium, en solution hydro-alcoolique, dont la formule est :

Acétate d'uranium.	32 g.
Acétate de magnésium.	100 g.
Acide acétique.	20 cc.
Alcool à 90°.	500 cc.
Eau distillée QS p.	1000 cc.

On mélange les acétates avec l'acide acétique, l'alcool et 300 cc. d'H^2O, on porte au bain marie jusqu'à dissolution complète. On complète le volume à 1000 cc.

Ce réactif, en excès, avec le sodium, donne un acétate triple de magnésium, uranium et sodium cristallisé et insoluble dans l'alcool à 95°. Le précipité qui se forme n'est gêné ni par les alcalino-terreux, ni par le potassium et le lithium. Il est spécifique du sodium.

Nous avons pris 2 cc. d'eau et 10 cc. de réactif, après repos d'une demi-journée à l'obscurité, filtration dans un creuset

garni d'une rondelle de papier filtre et lavage avec l'alcool à 95°. Nous avons pesé le précipité dont un gramme contient 0 g. 015 de sodium.

Sources	100 g. — creuset	100 g. — (creuset +précipité)	Précipité en g.	Na en g. p.1000
César.	A. 8,855 B. 5,905	8,804 5,854	0,051	0,382
St-Victor.	A. 9,725 B. 10,105	9,597 9,977	0,128	0,972
St-Mart. .	A. 6,975 B. 8,37	6,850 8,24	0,125 : 0,1275 0,130	0,9562
Eugénie..	A. 10,11 B. 8,817	9,977 8,682	0,133 : 0,134 0,135	1,005
Fonteix. .	A. 8,372 B. 9,122	8,267 8,997	0,125	0,942
Roches ..	A. 6,6 B. 5,9	6,512 5,812	0,088	0,665
Puits Artésien .	A. 8,852 B. 10,842	8,783 10,771	0,069 : 0,070 0,071	0,5325
St-Alyre .	A. 8,37 B. 10,115	8,28 10,025	0,09	0,675

Calcium. — Le calcium a été dosé, à l'état d'oxalate de Ca qu'on titre à l'aide d'une solution $\frac{N}{10}$ de MnO^4K, en milieu sulfurique.

Certaines précautions (concentration, double précipitation) sont utiles dans ce dosage, afin de ne pas entraîner le magnésium.

Nous avons opéré sur 200 cc. d'eau, car la prise d'essai doit contenir de 0 g. 03 à 0 g. 06 de Ca. Nous avons éliminé la silice en ajoutant 10 cc. HCl et après ébullition de cinq minutes, la liqueur est neutralisée exactement, additionnée de 20 gr. de $ClNH^4$ et portée à l'ébullition. Ajouter 100 cc. de solution $(COONH^4)^2$ 5%, faire bouillir trois minutes et laisser au repos pendant une nuit. La liqueur surnageante est filtrée et le précipité traité par 100 cc. de HCl N à chaud. La solution est neutralisée par NH^3, amené à 200 cc. et portée à ébullition. Nous l'avons traitée à nouveau par 100 cc. de solution chaude de $(COONH^4)^2$ à 5%, laissée bouillir pendant trois minutes et filtrée. Après 4 heures de repos, on lave le précipité à l'eau froide jusqu'à ce que l'eau de lavage ne trouble plus par NO^3Ag. On le fait tomber dans un becher, le filtre est lavé avec de l'acide SO^4H^2 N chaud. A la solution trouble, on ajoute 20 cc. de SO^4H^2 concentré et on titre avec $n^{cc}Mn\,O^4K$ $\frac{N}{10}$.

$\frac{n}{100}$ = poids de Ca en gramme par litre d'eau.

Sources	César	Saint-Victor	Saint-Mart	Eugénie
V cc.....	200	200	200	200
N cc.....	17,5	27,2	24,3	26,2
Ca en p. 1000 .	0,175	0,272	0,243	0,262

Sources	Fonteix	Roches	Puits Artésien	Saint-Alyre
V cc. ...	200	200	200	200
N cc....	23,0	17,4	28,1	36,2
Ca en p. 1000 .	0,230	0,174	0,281	0,362

Magnésium. — Le magnésium a été dosé en milieu alcalin par l'hydroxyquinoleine qui précipite le magnésium à l'état d'hydroxyquinoleinate de magnésium, insoluble dans l'alcool, alors que les hydroxyquinoleinates des autres métaux lourds et alcalino-terreux le sont. Le dosage doit se faire en l'absence des sels ammoniacaux et certaines précautions (concentration et PH) sont nécessaires. L'hydroxyquinoleinate de Mg est bromuré par le mélange de bromure de K et de bromate de K, en solution acide, mis en excès : on titre l'excès de Br, non employé par iodométrie.

Nous avons mis 20 cc. d'eau, quantité qui contient la concentration voulue en Mg (0 g. 01), dans un gros tube à centrifuger, trois gouttes d'acide acétique, 5 cc. $(COONH^4)^2$ $\frac{N}{10}$ qui précipite le Ca, deux gouttes de rouge de méthyle et, avec la soude diluée au 1/10e, ramené à la teinte vieux rose : PH 5—5,5. Après une heure au bain-marie bouillant et centrifugation du liquide chaud, sans séparer le précipité de $(COO)^2$ Ca qui ne gêne pas, dans la liqueur alcalinisée, nous avons ajouté un excès de solution à 2 p. 100 d'hydroxyquinoleine dans l'alcool à 95°.

Le lavage du précipité par l'alcool à 95°, alcalinisé avec 8 p. 1000 d'ammoniaque, laisse, isolé, l'hydroxyquinoleinate de Mg. On le dissout dans HCl officinal dilué au 1/4, on ajoute 2 cc. BrK à 40%, puis 10 cc. de solution de bromate de K $\frac{N}{10}$ (bromate de K 2 g. 785, BrK 50 g., eau QS p. 100) ; enfin, 10 cc. de solution fraîche de Ki à 20%. L'iode libéré est titré avec $S^2O^3Na^2$ $\frac{N}{50}$. Nous avons comparé avec un témoin contenant : HCl dilué au 1/4, en même quantité, 2 cc. BrK, 10 cc. de solution $\frac{N}{10}$ bromate, 10 cc. 1 K.

Soit : Ncc le volume de $S^2O^3Na^2$ correspondant au témoin.

N'cc le volume de $S^2O^3Na^2$ utilisé pour le dosage de Mg de l'eau.

(N—N′) × 12,16 = Poids de Mg en milligrammes, par litre, avec une prise d'essai de 5 cc.

(N—N′) × 3,04 = Poids de Mg en milligramme par litre avec notre prise d'essai de 20 cc.

Sources	César	Saint-Victor	Saint-Mart	Eugénie
N cc.....	47,6	47,6	47,6	47,6
N′ cc.....	18,15	9,6	8,6	7
N — N′ cc	29,45	38	39	40,6
Mg en g. p. 1000 ...	0,0895	0,1155	0,1185	0,125

Sources	Fonteix	Roches	Puits Artésien	Saint-Alyre
N cc.....	47,6	47,6	47,6	47,6
N′ cc.....	19,95	5,35	31,6	14,5
N — N′ cc	27,65	42,25	16	33,25
Mg en g. p. 1000 ...	0,084	0,1284	0,049	0,1010

Fer. — Le fer à l'état de Cl^3Fe est réduit, par H naissant (HCl + Zn), à l'état ferreux qu'on dose au MnO^4K $\frac{N}{100}$.

Une prise d'essai de 2.000 cc. d'eau contenant entre 0 g. 008 et 0 g. 01 de Fe est évaporée à sec. L'extrait obtenu est dissout dans HCl à 5 %, mis dans un ballon fermé par un tube de caoutchouc muni d'une fente, qui permet de laisser sortir les gaz, sans laisser entrer l'air.

10 cc. SO^4H^2 officinal + 10 g. de Zn donne de l'H naissant. On suit la réduction de sels ferriques en ferreux, à l'aide d'une solution SCnK, qui vire au rouge avec les persels. Lorsque la réduction est terminée, on transvase dans une fiole contenant

déjà un g. CO^3NaH. Le CO^2 dégagé par la solution acide empêche l'oxydation par l'oxygène de l'air. Nous avons dosé avec le MnO^4K $\frac{N}{100}$ jusqu'à coloration violette.

Soit Ncc, 1 cc. de MnO^4K $\frac{N}{100}$ correspondant à 0 g. 00056, la teneur en fer au litre est :

$$\frac{0 \text{ g. } 00056 \times N}{2}$$

Sources	César	Saint-Victor	Saint-Mart	Eugénie
N cc.....	41	17,5	24,1	25,5
Fe en g p. 1000 ...	0,0114	0,0049	0,0067	0,0071

Sources	Fonteix	Roches	Puits Artésien	Saint-Alyre
N cc.....	31	34,5	41,85	61
Fe en g. p. 1000 ...	0,0086	0,0096	0,0117	0,0170

Manganèse. — Nous avons employé, pour le dosage du Mn la méthode basée sur la transformation de l'atome Mn en anion (MnO^4), sous l'influence d'un fort oxydant, le persulfate de potassium, en présence d'un catalyseur NO^3Ag. L'ion permanganique résultant est caractérisé par sa coloration violette qui permet un dosage colorimétrique ou volumétrique avec l'acide oxalique.

Dans un bécher, nous avons pris 1000 cc. de l'eau étudiée, acidulée franchement par NO^3H et porté à l'ébullition. Nous avons ajouté, goutte à goutte, une solution de NO^3Ag, jusqu'à

précipitation totale des chlorures. Après filtration, nous avons évaporé la liqueur filtrée jusqu'à la réduire à 200 cc. environ. La solution réduite est introduite dans une fiole avec 10 cc. de NO^3H pur, 10 gouttes NO^3Ag à 10% et 1 g. de persulfate de potassium et chauffée légèrement. Dans le cas où l'eau contient du Mn la coloration violette caractéristique se développe sans tarder.

Pour bien mener l'opération, il faut avoir soin de ne pas mettre un excès de NO^3Ag lorsque l'on précipite les chlorures.

Les solutions étalons de Mn sont faites avec une solution de MnO^4K à 0 g. 001246 p. 1000, contenant 0 g. 00044 p. 1000 de Mn.

On compare par un dosage colorimétrique, soient h et h′ les hauteurs de liquide au colorimètre.

Sources	César	Saint-Victor	Saint-Mart	Eugénie
h.	4,7	12	3,5	7,3
h′.	1	3	1	2
Mn en g. p. 1000 ...	0,000402	0,000352	0,000308	0,000316

Sources	Fonteix	Roches	Puits Artésien	Saint-Alyre
h.	3,7	4,5	7,6	4,6
h′.	1	1	1,9	1
Mn en g. p. 1000 ...	0,000325	0,000382	0,000352	0,000407

Arsenic.— L'arsenic sous l'influence de l'H naissant donne, on le sait, ASH^3. Dans la méthode que nous avons employée, on fait réagir ASH^3 sur le papier au bromure mercurique, dans l'appareil suivant : (20).

1° Un petit ballon de 50 cc., à large ouverture, fermée par un bouchon de caoutchouc, ou de liège paraffiné, dans lequel on fixe.

2° Un tube de 15 cm. de longueur et 1 cm. de diamètre.

3° Ce dernier tube est prolongé par un autre plus petit de 12 cm. de longueur et 3 mm. de diamètre, fixé à l'aide d'une connexion en caoutchouc.

Dans la partie inférieure du premier tube, on place un papier filtre, imbibé d'une solution d'acétate de plomb et séché complètement, au-dessus, un tampon de coton humidifié avec une solution d'acétate de plomb à 5% (l'ensemble retient H^2S au besoin).

Dans le petit tube de sortie, on place sur une longueur d'un 1/2 centimètre du coton bien sec et une bandelette de papier sensibilisé au bromure mercurique, ayant 2 mm. 5, de largeur et 10 ou 12 cm. de longueur.

Ce papier sensible s'obtient en trempant pendant une demi-heure seulement du papier à dessin dans une solution alcoolique à 5% de Br^2Hg ; sorti du bain, on le presse rapidement entre deux papiers buvards. On le laisse sécher convenablement et on le conserve dans un flacon fermé à l'abri de l'humidité.

Nous avons vérifié l'absolue pureté de nos réactifs, en faisant une expérience à blanc, avec 100 cc. H^2O distillée, 15 cc. SO^4H^2 pur dilué au 1/3, 5 gouttes de $SnCl^2$ (Sn + HCl pur) et 4 g. de Zn pur, dans le ballon, plongé dans un thermostat d'eau froide, à 10°.

Puis, nous avons fait virer des papiers par différentes doses d'As, mises dans le ballon, sous forme de solution d'arseniate de sodium. Ces étalons correspondent en As à :

0 mmg. 0036
0 mmg. 0072
0 mmg. 0108
0 mmg. 07
0 mmg. 1

Les expériences furent faites alors, directement sur 100 cc. d'eau minérale, lorsqu'il y avait peu d'As, sur 10 cc., lorsqu'il y en avait plus, et sur 1 litre d'eau, concentrée à 50 cc., par évaporation, lorsque la quantité d'As était infinitésimale.

Les papiers obtenus furent comparés aux papiers étalons.

Sources	César	Saint-Victor	Saint-Mart	Eugénie
As en g. p. 1000 ...	0,0001	0	0,0018	0,001
As en mmg p. 1000 ...	0,1	0	1,8	1

Sources	Fonteix	Roches	Puits Artésien	Saint-Alyre
As en g. p. 1000 ...	0,0000072	0,0000072	0,0000036	0,0000036
As en mmg p. 1000 ...	0,0072	0,072	0,0036	0,0036

Ion sulfurique. — L'ion sulfurique a été dosé, en le transformant à 0° et en milieu acide, en sulfate de benzidine.

Le sulfate de benzidine est titré par la soude $\frac{N}{50}$ Nous avons évaporé, en milieu chlorhydrique, 250 cc. d'eau jusqu'à 50 cc., la prise d'essai devant contenir entre 0 g. 02 et 0 g. 03 d'ion sulfurique. Nous avons mis ces 50 cc. dans un bain de glace et ajouté 50 cc., également refroidis à 0°, d'une solution contenant par litre :

Benzidine..... 2 g.
HCl officinale..... 3 g.
H^2O QS p..... 1000 cc.

Après cinq minutes de contact, le précipité est filtré sur filtre de Gooch, muni de deux rondelles de papier filtre, et lavé six fois à l'eau distillée à 0°. Le précipité et le filtre sont mis dans 100 cc. d'H^2O distillée à température ordinaire, agités et titrés par la soude $\frac{N}{50}$.

Soient : V le volume d'eau minérale en cc.

N le nombre de cc. de soude.

$\frac{N \times 0,96}{V}$ = Poids de l'ion sulfurique en grammes par litre.

Sources	César	Saint-Victor	Saint-Mart	Eugénie
V cc.	250	250	250	250
N cc.....	25,5	27,5	27,25	27,75
SO^4 en g. p. 1000 ...	0,097	0,1056	0,1046	0,1064

Sources	Fonteix	Roches	Puits Artésien	Saint-Alyre
V cc.	250	250	250	250
N cc.....	22	29,5	12,5	17,5
SO^4 en g. p. 1000 ...	0,084	0,111	0,049	0,066

Chlore. — Le chlore est dosé dans une solution acidulée par NO^3H, en mettant un excès de NO^3Ag, en titrant l'excès avec une solution $ScnK \frac{N}{10}$ en prenant l'alun de fer comme indicateur.

Dans une fiole conique, nous avons pris 100 cc. d'eau, comme prise d'essai, car elle doit contenir entre 0 g. 05 et 0 g. 10 de chlore. Après avoir acidulé par NO^3H, nous avons ajouté 30 cc. de $NO^3Ag \frac{N}{10}$, 5 cc. d'éther et agité la fiole bouchée jusqu'à ce que le précipité soit rassemblé et la liqueur surnageante parfaitement limpide. Nous avons mis 2 cc. d'une solution saturée à froid d'alun de fer et ammonium. L'excès de NO^3Ag

est titré par une solution $\frac{N}{10}$ de sulfocyanure de K jusqu'à virage rougeâtre persistant.

Soit : 30 cc. le volume de NO^3Ag ajouté

N — SCnK —

V — d'eau minérale en cc. (toujours 100 cc.)

$\frac{30 - N}{V} \times 3{,}55 =$ poids du chlore en gramme par litre d'eau.

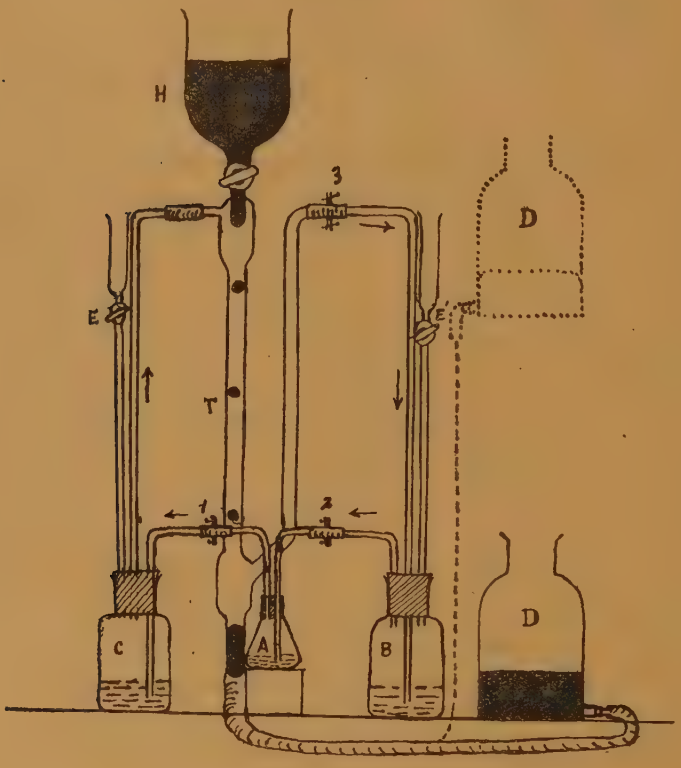
Sources	César	Saint-Victor	Saint-Mart	Eugénie
N cc.....	19,6	2,9	4	2,45
Cl en g. p. 1000 ...	0,366	0,96205	0,923	0,976

Sources	Fonteix	Roches	Puits Artésien	Saint-Alyre
N cc.....	6,9	11,4	18,8	14
Cl en g. p. 1000 ...	0,823	0,6603	0,3975	0,568

Gaz carbonique. — L'appareil employé pour le dosage du CO_2 est l'appareil de Lescœur (21), quelque peu modifié de façon à faire un macrodosage, c'est-à-dire, à prendre une quantité importante d'eau minérale, comme prise d'essai.

La trompe à mercure T aspire les gaz du flacon C et le comprime dans le flacon B ; (le Hg est remonté de D en H par un système élévateur approprié). Il se fait une circulation continue de gaz dans le circuit fermé, dans le sens B.C.T.B. ; en B, se trouve l'eau minérale avec de l'acide sulfurique, en C, de l'eau de baryte titrée et en excès ; le gaz carbonique, dégagé de l'eau, barbote dans la baryte. En titrant la baryte absorbée, on en déduit le CO^2 dégagé. Quelques précautions sont à prendre

pour purger l'appareil du CO^2 qui y est contenu et pour faire entrer, d'une part 200 cc. d'eau minérale, 20 cc. SO^4H^2 au 1/2 dans B, et d'autre part, dans C, 100 cc. de baryte (N environ). Voici les détails de ces opérations :



Les flacons B et C étant vides, on met de la baryte dans un flacon auxiliaire A, entre les deux ; les pinces 1, 2 et 3 étant ouvertes, la trompe fonctionne pendant demi-heure ; le CO^2 est absorbé par la baryte de A ; on ferme 1 et 2. On retire le flacon A, on ouvre 1 et, par l'entonnoir E, on fait descendre en C 100 cc. de baryte titrée ; on fait passer de la même façon 200 cc. d'eau en B, par l'entonnoir E' ; on ouvre 2, on monte le mercure au niveau de H. On ferme 3 et on rejoint la pince 1 et 2 par un tube de verre droit. Lorsque D est abaissé et 3 ouvert de nouveau, l'appareil est prêt à fonctionner ; après

10 minutes de marche, on fait passer SO^4H^2 au 1/2, goutte à goutte, de l'entonnoir E' en B.

La baryte, avant et après l'expérience, est titrée avec HCl *N*, en présence de l'erythrosine et d'éther, jusqu'à décoloration de la couche éthérée, dans un flacon fermé à émeri.

Soit : Ncc HCl *N*, correspondant à 50 cc. de baryte, avant l'expérience. L'expérience terminée, la baryte du flacon C est filtrée rapidement ; on recueille 50 cc. de filtrat qu'on titre par N' d'HCl *N*.

$(N - N') \times 0{,}22$ la quantité de CO^2 en gramme par litre.

On peut titrer dans l'eau minérale le CO^2 total, de la façon qui est indiquée. Ce total comprend et le gaz libre et le CO^2 de bicarbonate. Si l'on veut déterminer seulement le CO^2 de bicarbonate, il faut préalablement faire dégager le CO^2 libre de l'eau ; ceci, soit en faisant passer dans cette eau du courant d'air, soit en le mettant sous une cloche à vide. En retranchant du CO^2 total, le CO^2 bicarbonaté, on a le CO^2 libre.

CO2 BICARBONATÉ
(en gramme p. 1000)

Sources	César	Saint-Victor	Saint-Mart	Eugénie
N cc.....	22,7	23	21,6	23
N' cc.	18,05	15,2	14	15
CO^2.	0,936	1,717	1,672	1,760

Sources	Fonteix	Roches	Puits Artésien	Saint-Alyre
N cc.....	23,2	22,5	32,1	23
N' cc.	15,74	16,8	17,95	14,9
CO^2.	1,642	1,276	1,352	1,782

CO_2 TOTAL ET LIBRE
(en gramme par 1000)

Sources	César	Saint-Victor	Saint-Mart	Eugénie
N cc.....	22,35	19	21,4	23
N' cc.	10,45	6	20,2	21,8
CO^2 total..	1,958	2,860	2,640	2,640
CO^2 libre.	1,022	1,143	0,968	0,788

Sources	Fonteix	Roches	Puits Artésien	Saint-Alyre
N cc.....	22,15	22,75	22,75	22,6
N' cc.	10,64	13,7	12,9	11,2
CO^2 total..	2,533	1,991	2,166	2,508
CO^2 libre. .	0,891	0,715	0,814	0,726

Silice. — Méthode colorimétrique de Dienert et Wandenbulcke (22). Elle s'effectue directement, sur l'eau, après avoir éliminé les phosphates, lorsqu'il y en a, ce qui est rare, et oxydé les sulfures, dans les eaux sulfureuses.

A 50 cc. d'eau, on ajoute directement 3 cc. d'une solution de molybdate d'ammonium et 3 cc. d'acide acétique cristallisable ; on obtient une teinte jaune d'acide silico-molybdique proportionnelle à la dose de SiO^2 entrée en réaction. Cette teinte est comparée colorimétriquement à une solution d'acide picrique, d'une coloration équivalente à celle que donne une solution contenant 50 mmg. p. 1000 de SiO^2. Nous avons dosé ainsi, la silice totale de l'eau, mais aussi la silice colloïdale. Cette dernière recherche a été faite de la façon suivante :

On porte l'eau minérale à ébullition pendant une heure, avec 0 g. 4 % de CO^3NaH, dans une capsule en platine, ce qui détruit la silice colloïdale et la transforme en silicates. Sur la

liqueur obtenue, acidifiée, on dose la silice totale qui comprend la silice soluble dans l'eau et la silice colloïdale. Nous n'avons jamais obtenu de différence entre les deux dosages de silice, avant et après ébullition avec CO^3NaH, ce qui prouve que, dans les eaux minérales étudiées, il n'y a pas de silice colloïdale.

Sources	César	Saint-Victor	Saint-Mart	Eugénie
Hauteur du colorimètre	11 mm.	19 mm.	9,4 mm.	13,5 mm.
h'.	8 mm.	10 mm.	5 mm.	10 mm.
SiO^2 en g. p. 1000 . . .	0,0689	0,095	0,094	0,067

Sources	Fonteix	Roches	Puits Artésien	Saint-Alyre
Hauteur du colorimètre	18,8 mm.	7,7 mm.	8,7 mm.	7 mm.
h'.	10 mm.	5 mm.	5 mm.	5 mm
SiO^2 en g. p. 1000 . . .	0,094	0,077	0,087	0,070

Nous avons effectué la recherche de l'ammonium par le procédé de Wanklyn-Chapmann, le dosage des nitrates par la méthode de Grandval et Lajoux, des nitrites avec le réactif de Greiss.

Nous n'avons trouvé ni ammonium, ni nitrates, ni nitrites sauf, pour la source du Puits Artésien qui a des traces de nitrates, et la source Saint-Alyre qui a des traces d'ammonium.

CHAPITRE IV

COMPARAISONS
AVEC LES ANALYSES ANTÉRIEURES

Nous présentons les tableaux résumant la composition des sources étudiées en les comparant aux analyses anciennes contenues dans les ouvrages de Truchot (17) et de Jacquot et Willm (23).

Source César, Royat

Analyse physique

Température	27°5
PH	6,23
Densité	1,0022
Abaissement cryoscopique	0°19
Radio-activité	0,679 mmcuries
Résistivité	396,288 ohms cm.
Indice de réfraction	1,304

Analyse chimique (en grammes par litre)			Analyse Truchot
Extrait sec à 180°		1,786	2,344
Alcalinité (en soude $\frac{N}{10}$ par litre)		213	
Cations	Potassium	0,1134	0,1115
	Sodium	0,382	0,4464
	Ammonium	0,	0,
	Calcium	0,175	0,1693
	Magnésium	0,0895	0,0651
	Fer	0,0114	0,0078
	Manganèse	0,000402	traces
Anions	Arsenic	0,0001	traces
	SO^4	0,097	0,0774
	NO^3	0	0
	NO^2	0	0
	Cl	0,366	0,4843
	CO^3H	1,294	1,2988
Total des cations et anions		2,5288	2,6606
Acides non dissociés :			
	SiO^2	0,0689	0,1167
	CO^2 libre	1,022	1,229

Source Saint-Victor, Royat

Analyse physique

Température	21°4
PH	6,41
Densité	1,00393
Abaissement cryoscopique	0,30
Radio-activité	15,17 mmcuries
Résistivité	196,38 ohms cm.
Indice de réfraction	1,304

Analyse chimique (en gramme par litre)			**Analyse Truchot**
Extrait sec à 180°		3,722	3,970
Alcalinité (en soude $\frac{N}{10}$ par lit.)		390	
Cations	Potassium	0,1235	0,0897
	Sodium	0,972	1,3372
	Ammonium	0	0
	Calcium	0,272	0,2496
	Magnésium	0,1155	0,0943
	Fer	0,0049	0,0176
	Manganèse	0,000352	traces
Anions	Arsenic	0	0
	SO^4	0,1056	0,11221
	NO^3	0	0
	NO^2	0	0
	Cl	0,96205	1,0291
	CO^3H	2,335	2,1584
Total des cations et anions		4,8909	5,0881
Acides non dissociés :			
	SiO^2	0,0950	0,0950
	CO^2 libre	1,143	1,492

Source Saint-Mart, Royat

Analyse physique

Température	27°7
PH	6,49
Densité	1,00384
Abaissement cryoscopique	0,30
Radio-activité	14,34 mmcuries
Résistivité	203,125 ohms cm.
Indice de Réfraction	1,304

Analyse chimique (en gramme par litre)			Analyse Truchot
Extrait sec à 180°		3,587	3,495
Alcalinité (en soude $\frac{N}{10}$ par lit.)		379,5	
Cations	Potassium	0,109	0,0729
	Sodium	0,9525	0,895
	Ammonium	0	0
	Calcium	0,243	0,2392
	Magnésium	0,1185	0,1067
	Fer	0,0067	0,0072
	Manganèse	0,000308	traces
Anions	Arsenic	0,0018	traces
	SO^4	0,1046	0,0985
	NO^3	0	0
	NO^2	0	0
	Cl	0,923	0,9759
	CO^3H	2,307	2,007
Total des cations et des anions		4,6664	4,4024
Acides non dissociés :			
	SiO^2	0,094	0,094
	CO^2 libre	0,968	1,709

Source Eugénie, Royat

Analyse physique

Température	33°5
PH	6,51
Densité	1,00404
Abaissement cryoscopique	0,30
Radio-activité	0,25 mmcuries
Résistivité	191,234 ohms cm.
Indice de réfraction	1,305

Analyse chimique (en gramme par lit.).			**Analyse Truchot**
Extrait sec à 180°		3,817	4,155
Alcalinité (en soude $\frac{N}{10}$ par lit.)		400	
Cations	Potassium	0,133	0,14859
	Sodium	1,005	1,0456
	Ammonium	0	0
	Calcium	0,262	0,24813
	Magnésium	0,125	0,0613
	Fer	0,0071	0,0132
	Manganèse	0,000316	traces
Anions	Arsenic	0,0010	traces
	SO^1	0,1064	0,1318
	NO^3	0	0
	NO^2	0	0
	Cl	0,976	1,0678
	CO^3H	2,428	2,567
Total des cations et des anions		5.0438	5,2833
Acides non dissociés :			
	SiO^2	0,067	0,132
	CO^2 libre	0,88	0,645

Source Fonteix, Clermont-Fd

Analyse physique

Température	17°
PH	6,52
Densité	1,00352
Abaissement cryoscopique	0,26
Radio-activité	20,416 mmcuries
Résistivité	207,538
Indice de réfraction	1,304

Analyse chimique (en gramme par litre)			**Analyse Truchot**
Extrait sec à 180°		3,422	3,813
Alcalinité (en soude $\frac{N}{10}$ par lit.)		373	
Cations	Potassium	0,105	0,6045
	Sodium	0,942	1,0613
	Ammonium	0	0
	Calcium	0,230	0,2303
	Magnésium	0,084	0,0933
	Fer	0,0086	0,0069
	Manganèse	0,000305	traces
Anions	Arsenic	0,0000072	traces
	SO^4	0,084	0,0899
	NO^3	0	0
	NO^2	0	0
	Cl	0,823	0,9345
	CO^3H	2,233	3,065
Total des cations et anions		4,509	6,0857
Acides non dissociés :			
	SiO^2	0,094	0,120
	CO^2 libre	0,891	0,687

Source des Roches, Clermont-Fd

Analyse physique

Température	17°
PH	6,33
Densité	1,00326
Abaissement cryoscopique	0,20
Radio-activité	0
Résistivité	217,512
Indice de réfraction	1,304

Analyse chimique (en gramme par litre)			Analyse Truchot
Extrait sec à 180°		2,670	2,795
Alcalinité (en soude $\frac{N}{10}$ par lit.)		289	
Cations	Potassium	0,0628	0,0624
	Sodium	0,665	0,6829
	Ammonium	0	0
	Calcium	0,174	0,1855
	Magnésium	0,1284	0,0739
	Fer	0,0096	0,01447
	Manganèse	0,000382	traces
Anions	Arsenic	0,000072	traces
	SO^4	0,111	0,08044
	NO^3	0	0
	NO^2	0	0
	Cl	0,6603	0,6667
	CO^3H	1,760	1,649
Total des cations et anions :		3,5715	3,4152
Acides non dissociés :			
	SiO^2	0,077	0,092
	CO^2 libre	0,715	1,650

Source Puits Artésien, Clermont-Fd

Analyse physique

Température	22°5
PH	6,21
Densité	1,003083
Abaissement cryoscopique	0,21
Radio-activité	0
Résistivité	310,517 ohms cm.
Indice de réfraction	1,304

Analyse chimique (en gramme par litre)			Analyse Truchot
Extrait sec à 180°		2,293	2,440
Alcalinité (en soude $\frac{N}{10}$ par lit.)		307	
Cations	Potassium	0,064	0,06864
	Sodium	0,532	0,497
	Ammonium	0	0
	Calcium	0,281	0,2545
	Magnésium	0,049	0,0510
	Fer	0,0117	0,02265
	Manganèse	0,000352	traces
Anions	Arsenic	0,0000036	traces
	SO^4	0,049	0,05813
	NO^3	traces	0
	NO^2	0	0
	Cl	0,397	0,40241
	CO^3H	1,838	1,4532
Total des cations et anions		3,222	2,8074
Acides non dissociés :			
	SiO^2	0,087	0,117
	CO^2 libre	0,814	0,740

Source Saint-Alyre, Clermont-Fd

Analyse physique

Température	21°
PH	6,64
Densité	1,00322
Abaissement cryoscopique	0,21
Radio-activité	0
Résistivité	237,179 ohms cm.
Indice de réfraction	1,304

Analyse chimique (en gramme par litre)			**Analyse Truchot**
Extrait sec à 180°		3,05	4,934
Alcalinité (en soude $\frac{N}{10}$ par lit.)		406	
Cations	Potassium	0,0606	0,0581
	Sodium	0,675	0,68149
	Ammonium	traces	0
	Calcium	0,362	0,41948
	Magnésium	0,1010	0,11808
	Fer	0,017	0,00534
	Manganèse	0,000402	traces
Anions	Arsenic	0,0000036	traces
	SO^4	0,066	0,1223
	NO^3	0	0
	NO^2	0	0
	Cl	0,568	0,6391
	CO^3H	2,459	3,4625
Total des cations ent aions		4,309	5,5061
Acides non dissociés :			
	SiO^2	0,070	0,120
	CO^2 libre	0,726	0,586

Un regard d'ensemble sur ces analyses nous permet de dégager quelques idées générales :

1° Au point de vue composition saline, les eaux de Royat et de Clermont sont étroitement apparentées. Elles peuvent être classées dans la catégorie des eaux chloro-bicarbonatées fortes d'Auvergne (Truchot).

2° Leur radio-activité les distingue : les sources de Saint-Alyre, du Puits Artésien et des Roches, situées dans les terrains sédimentaires de Clermont, ne sont pas radio-actives, les autres le sont plus ou moins, et, parmi celles de Royat, Saint-Victor et Saint-Mart ont une quantité de radon notable, tandis que César et Eugénie en contiennent très peu.

3° Comparons le pourcentage de Ca, dans l'extrait sec, pour les sources de Royat, situées sur les failles de bazalte et pour les Sources de Clermont, situées dans les terrains calcaires, nous trouvons les chiffres suivants :

Source	Ca	Extrait	Pourcentage
Eugénie.	0 g.262	3 g. 817	6,86
Saint-Mart.	0 g. 243	3 g. 287	7,39
Puits Artésien. . . .	0 g. 281	2 g. 292	12,25
Saint-Alyre.	0 g. 362	3 g. 05	11,86

Ainsi la quantité de calcium augmente, quand nous nous déplaçons dans les terrains calcaires, et nous répondons ainsi à une question que nous nous sommes posés, à la fin du premier chapitre.

4° Comparons nos résultats aux analyses antérieures : les extraits sont tous plus élevés que les nôtres ; nous pensons qu'ils ont été desséchés à des températures différentes, nous les avons effectués à 180°, tandis que les autres analystes n'ont pas spécifié la température à laquelle ils ont opéré ; cette différence de minéralisation totale peut, ainsi, ne pas être due à la source.

5° Le sodium est la plupart du temps plus élevé, ceci provient très probablement des différentes méthodes de dosage, celle que nous avons suivie s'effectue directement sur l'eau.

6° Le gaz carbonique libre est très différent, mais, à ce sujet,

il est utile de rappeler que les conditions de prélèvement sont importantes. Si on prend l'eau à l'air, à l'émergence, il est naturel qu'on trouve, pour le CO^2 libre, un chiffre voisin de celui qui correspond à la saturation de ce gaz dans l'eau, sous la pression atmosphérique, et à la température ambiante, c'est un nombre voisin de 1 g. 5 à 15°. Nous avons toujours trouvé des chiffres plus bas oscillant entre 0 g. 7 et 1 g. 1, ce qui montre que le dégagement de CO^2 libre à l'air se fait extrêmement rapidement et qu'il aurait été important de prélever nos échantillons sous pression de CO^2.

Dans l'ensemble, ces restrictions étant faites, au sujet des extraits, du sodium et du gaz carbonique libre, nous constatons que les sources n'ont pas varié de composition.

7° Pour vérifier si les résultats de nos analyses sont satisfaisants, nous signalons qu'ils doivent réaliser plusieurs conditions (24).

a) *Equilibre ionique* : la somme des cations, en équivalents, doit être égale à celle des anions.

b) *Poids de l'extrait sec* : il doit être égal à la somme des éléments fixes, l'acide carbonique étant à l'état de carbonate.

c) *Alcalinité* : elle doit correspondre à l'acide carbonique combiné.

Il est facile de rechercher quelles sont les valeurs de gaz carbonique combiné qui satisfont à ces trois relations de contrôle. On obtient ainsi trois chiffres a.b.c. qu'il suffit de comparer avec le dosage direct de CO^2, pour se rendre compte des erreurs commises, dans les dosages. En supprimant, pour simplifier les éléments qui, dans les eaux de Royat et de Clermont peuvent être négligeables, les trois valeurs calculées de CO^3H combiné s'écrivent comme suit (Cl SO^4, etc..., indiquant, en milligrammes le poids des ions dosés ; l'alcalinité étant en cm^3 $SO^4H^2 \frac{N}{10}$.

$$a = 61 \times \left(\frac{Na}{23} + \frac{K}{39} + \frac{Ca}{20} + \frac{Mg}{12} + \frac{SO^4}{48} + \frac{Cl}{35,5} \right)$$

$$b = \frac{61}{30} \times (\text{Extrait sec} - (SO^4 + Cl + Na + K + Mg + Ca)$$

$$c = 6100 \times \frac{\text{alcalinité}}{1000}$$

Nous avons fait ces calculs pour toutes les sources et nous n'arrivons qu'à des erreurs de l'ordre de 1 à 2 pour cent. A titre d'exemple, nous donnons un de ces calculs pour la source Eugénie :

$$a = 61 \times \left(\frac{1005}{23} + \frac{133}{89} + \frac{262}{20} + \frac{125}{12} + \frac{106,4}{48} + \frac{976}{35,5}\right)$$

$$= 61 \times (43 + 3,4 + 13 + 10,4 - 2,2 - 27,6)$$

$$= 61 \times (69,8 - 29,8)$$

$$= 61 \times 40 \qquad = \mathbf{2440\ mmg.}$$

$$b = \frac{61}{30} 3817 - (1005 + 133 + 262 + 125 + 106 + 976)$$

$$= \frac{61}{30} (3817 - 2617)$$

$$= \frac{61}{30} \times 1200 \qquad = \mathbf{2440\ mmg.}$$

$$c = 6100 \times \frac{400}{1000} \qquad = \mathbf{2440\ mmg.}$$

Le CO^3H dosé directement a été troivé égal à 2428 mmg., soit avec une erreur de 0,5 %.

Cette vérification sert non seulement à juger la valeur des analyses faites par différents expérimentateurs, mais aussi, celle de procédés de dosage utilisé.

Au moment où notre travail est terminé, les Annales de l'Institut d'Hydrologie et de Climatologie de Paris font paraître dans leur bulletin (tome XII, fasc. 4, n° 46), les analyses des sources de Royat, dont les prélèvements ont eu lieu en juin 1931. Nous sommes heureux de constater que, dans leur ensemble, nos résultats sont très concordants avec ces résultats officiels.

CHAPITRE V

EMPLOI ACTUEL DES EAUX MINÉRALES DE ROYAT

Les eaux minérales de Royat sont employées dans le traitement des troubles de la circulation : hypertension artérielle, artérites oblitérantes, insuffisance cardiaque, trouble du système vago-sympathique et aussi, mais accessoirement, dans le traitement de l'anémie, la goutte viscérale et l'arthritisme.

La cure se fait surtout à l'aide de bains : les bains carbo-gazeux de Royat réputés dans le monde entier. On doit citer aussi les inhalations et les injections sous-cutanées de gaz ; les eaux prises en boisson, ne sont qu'un adjuvant de la cure. Ce sont les bains qui sont de beaucoup les plus importants. Ils peuvent être secs, si le sujet est mis dans un sac contenant des gaz thermaux ou ordinaires si le sujet trempe dans l'eau.

Le corps médical a à sa disposition toute une gamme de bains, puisqu'il existe quatre sources de minéralisation différente et, pour chacun d'eux, il y a le bain A et le bain B. Le bain A est obtenue de la façon suivante : l'eau sortant du griffon est conduite par une canalisation absolument close et, à l'abri de l'air dans d'immenses réservoirs, également clos qui la recueillent pendant la nuit (pour la source Eugénie, ces réservoirs sont construits sur l'emplacement de trois anciennes piscines romai-

nes) ; l'eau séjourne dans ces réservoirs clos moins de 24 heures avant d'être utilisée ; lorsqu'elle arrive dans la baignoire, elle a un aspect opalescent, jaune rouille ; cette couleur frappe l'observation du sujet. Pour le bain B, l'eau arrive directement du griffon dans la baignoire ; elle est transparente et n'a pas encore commencé à floculer. Le fait important c'est leur différence d'action sur les malades. Si les deux sortes de bains sont également vaso-dilatateurs, l'un est sédatif et hypotenseur : c'est le bain A, alors que l'autre exerce une action plus manifestement cardiotonique, le bain B.

L'action et les effets de ces différents bains ont été remarquablement mis en lumière dans deux livres déjà cités édités l'un par la Société Médicale de Royat, l'autre par des médecins consultants : P. Petit, A. Mougeot et V. Aubertot.

Dans ces études, nous voyons que le sujet immergé dans un bain est immédiatement le siège de phénomènes circulatoires ; l'action rénale est immédiate : ces bains ont un pouvoir diurétiques intense et activent les oxydations intra-tissulaires. Les sujets traités à Royat sont les cardiaques et tous les malades qui présentent des troubles fonctionnels d'insuffisance d'irrigation sanguine dans tel ou tel territoire. Les contre-indications de traitement de Royat sont des altérations anatomiques très avancées. Royat ne guérit pas toutes les maladies de cœur et tous les hypertendus, mais on peut dire qu'elle les améliore beaucoup presque tous.

La différence d'action des bains carbo-gazeux A et B, provient de ce que, dans le bain A, l'eau a commencé de floculer. A cet état, elle contient, en suspension de nombreuses micelles colloïdales, animées de mouvements Browniens, formées de carbonate ferrique, manganique et alcalino-terreux. En même temps, la peau du sujet est en contact avec ces micelles et avec le gaz carbonique qui se dégage des bicarbonates solubles dans l'eau.

Dans le bain B, au contraire, le sujet est immergé dans l'eau non floculée, il est soumis à une action beaucoup plus grande du gaz carbonique, le CO^2 libre de l'eau qui se dégage très rapidement.

La thérapeutique de Royat est donc une thérapeutique basée sur l'action de gaz carbonique et c'est pourquoi le Professeur Landouzy a pu écrire : « Quelle puissance thérapeutique carbo-gazeuse représente Royat ! ».

Le corps médical peut, en variant ces deux bains et en mé-

langeant les différentes sources, avoir une gamme thérapeutique active et très étendue.

Les eaux minérales de Royat, prises en boissons, contenant du fer et de l'arsenic sont, on le prévoit, un médicament de premier ordre, contre l'anémie et servent, en même temps, de diurétique et de stimulant.

Les eaux de Clermont-Ferrand ne sont employées qu'en boisson. Comme toutes les eaux bicarbonatées ferrugineuses, elles subissent, après leur émergence, le phénomène de la floculation décrit au sujet de nos prélèvements. Les eaux embouteillées laisseront donc déposer au fond des bouteilles leur floculat si on ne les embouteille pas de façon spéciale. Le problème d'embouteillage, sans floculation, est donc très important. Un procédé, mis au point actuellement, peut passer, dès maintenant, du laboratoire dans l'industrie thermale. En effet, la pratique courante qui consiste à laisser faire la floculation, avant la mise en bouteilles, à filtrer l'eau floculée et à la regazéifier ensuite, est répréhensible car elle prive l'eau minérale de beaucoup d'éléments, tous ceux qui partent dans le floculat, et change, de ce fait, ses propriétés thérapeutiques. Elle peut être conservée pour les eaux minérales d'alimentation ; les eaux minérales médicinales doivent l'abandonner.

Les eaux minérales de Clermont-Ferrand sont dans la première catégorie et sont vendus dans le commerce d'alimentation comme eaux digestives de table.

La source de Saint-Alyre tient une place spéciale. Elle sert à donner des bains chauds, pour le traitement des rhumatismes. De plus, elle est la grande fontaine pétrifiante d'Auvergne. Des objets et des moules en creux sont arrosés, par de minces filets d'eau minérale qui laisse déposer, sur eux, le carbonate de chaux venant de la dissociation des bicarbonates et les transforme en objets pétrifiés, possédant la durée de la pierre.

CONCLUSION

Après avoir fait l'historique de la station de Royat, nous avons apporté quelques précisions dans l'étude géologique de la région où sortent les sources de Royat et de Clermont. Des procédés modernes physiques et chimiques nous ont permis de faire des analyses rapides et correctes de huit sources. Elles n'avaient pas été faites depuis 1878. En les comparant aux analyses antérieures, on voit que ces sources ont très peu varié, et qu'elles sont stables. Nous sommes heureux d'avoir apporté, par ce modeste travail d'analyse, des éléments de statistique dans l'histoire hydrologique du Massif Central.

Vu, Clermont–Ferrand, le 22 Avril 1940.

Le Président du Jury,

CHARLES LAPP.

Vu et approuvé :

Clermont-Ferrand, le 23 Avril 1940,

Le Doyen délégué de la Faculté de Pharmacie,

CHARLES LAPP.

VU ET PERMIS D'IMPRIMER :

Clermont–Ferrand, le 24 Avril 1940.

Le Recteur de l'Académie,
Président du Conseil de l'Université.

A. TERRACHER.

BIBLIOGRAPHIE

(1) Oribace. L. XIII.

(2) Pline. *Histoire Naturelle*, XXXIII. (Introduction et page 150).

(3) Bonnard. *La Gaule Thermale*. Librairie Plon, 1908.

(4) Michel Bertrand. Note sur les antiquités découvertes au Mont-Dore 1844.

(5) Camille Jullian. *Histoire de la Gaule*, VI, p. 53.

(6) Dr Etienne Chabrol. L'Auvergne thermale et l'Epoque Gallo-Romaine. Edition de la revue *l'Auvergne Littéraire Historique et Artistique*, 8e année, Clermont, 1931. Imprimerie Générale, 2, cours Sablon, Clermont-Ferrand.

(7) Jean Banc. Les admirables vertus des Eaux Minérales de France, 1605 et 1618.

(8) Dr Fredet. Notes sur les Thermes Romaines de Royat, 1883.

(9) *La Cure balnéaire de Royat* par P. Petit, A. Mougeot et V. Aubertot, à Royat, 2eme Edition. Imprimerie Générale, J. de Bussac, 2, cours Sablon, Clermont - Ferrand.

(10) Dr Petit. Recherches sur la découverte à Royat de Substructures d'un Etablissement Thermal gallo-romain.

(11) Héron de Villeforse. *Bulletin de la Société des Antiquaires*, 1879, p. 287.

(12) Sidoine Apollinaire. Livre II. Epis. II. Traduction Grégoire et Collombet, Lyon, 1836.

(13) Dr Morlet. Une trinité Gallo-Romaine de la Fécondation trouvée à Vichy. *Presse Médicale*, no 56, 15 juillet, 1925.

(14) Legrand. Voyages faits en 1787 et 1788 dans la ci-devant basse et haute Auvergne.

(15) A. Dulaure. *Description des principaux lieux de France*. Paris, Lejay, 1789, 5e partie, *Auvergne*, p. 268.

(16) Guide en Auvergne, par Thibaud, 1864. Typographie Ferdinand Thibaud, éditeur, rue Saint-Genès, 8-10, à Clermont-Fd.

(17) P. Truchot. *Dictionnaire des Eaux Minérales du département du Puy-de-Dôme*. Paris, Delahaye, éditeur, place de l'Ecole-de-Médecine, 1878.

(18) Mme Blanquet et M. Armand. *Des eaux bicarbonatées férugineuses d'Auvergne : Les sources de Bernadie.* Annales de la Société d' Hydrologie de Paris, n° 4, année 1935 - 1936.

(19) Mlle J. Davoust. Quelques recherches sur la floculation des eaux minérales bicarbonatées ferrugineuses. Thèse Doctorat en Pharmacie, Toulouse, 1937, n° 52.

(20) Touplain. *Analyse générale des eaux* .Librairie polytechnique. Béranger, 1922, p. 60.

(21) M. L. Lescœur. Dispositif pour microdosage d'acide carbonique. *Journal de Pharmacie et de Chimie*, 8e série, tome VIII, p. 11, 1928.

(22) Dienert et Wandenbulcke. Dosage colorimétrique de la silice dans les eaux. *Bulletin de la Société de Chimie de France*, 1923, tome XXXIII-XXXIV, p. 1131.

(23) Jacquot et Willm. *Les Eaux Minérales de France. Etudes chimiques et géologiques.* Paris. Librairie Polytechnique, Baudry et Cie, éditeurs, 15, rue des Saints-Pères, 15, maison à Liège, rue des Dominicains, 7, 1894.

(24) Mme Blanquet et M. Arnaud, centre médical, mars 1934. Remarques sur les méthodes physiques et chimiques de contrôle des eaux minérales.

Imp. Générale, 2, Cours Sablon, Clermont-Fd.